

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

МІНЕНКО РОМАН ВАДИМОВИЧ

УДК 550.831+550.837+550.838+550.681+519.6

**ОПТИМІЗАЦІЙНІ МЕТОДИ СТІЙКИХ РОЗВ'ЯЗКІВ ОБЕРНЕНИХ
ЛІНІЙНИХ ЗАДАЧ ГРАВІМЕТРІЇ ТА МАГНІТОМЕТРІЇ З УТОЧНЮЮЧИМИ
ІТЕРАЦІЙНИМИ ПОПРАВКАМИ
(на прикладі руднопошукових задач)**

Спеціальність 04.00.05 – геологічна інформатика

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук



Київ 2016

Дисертація є рукописом.

Робота виконана на кафедрі геоінформатики ННІ «Інститут геології»
Київського національного університету імені Тараса Шевченка, МОН України

Науковий керівник: доктор фізико-математичних наук, с.н.с.
Корчагін Ігнатій Миколайович,
Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна
НАН України, провідний науковий співробітник.

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук, с.н.с.
Маслов Борис Петрович,
Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка
НАН України, головний науковий співробітник

доктор фізико-математичних наук, с.н.с.
Миرونцов Микита Леонідович,
Інститут телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАН України,
провідний науковий співробітник

Захист відбудеться «02» 07 2016р. о 13:30 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.001.42 Київського національного університету ім. Тараса Шевченка за адресою: 03022, м. Київ, вул. Васильківська, 90

З дисертацією можна ознайомитися в Науковій бібліотеці ім. М.Максимовича Київського національного університету ім. Тараса Шевченка за адресою: 01033, м. Київ, вул. Володимирівська, 58

Автореферат розісланий _____ 26.05 _____ 2016р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.001.42
кандидат фізико-математичних
наук, доцент



І.В. Тішаєв

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Оскільки майже половина території України знаходиться на кристалічному щиті (КЩ) з малими глибинами до кристалічних гірських порід (КГП), то першорядними завданнями геофізики є пошуки в них будь-яких рудних родовищ корисних копалин (РКК). Вирішення цих завдань неможливе без використання комплексу детальних геофізичних досліджень, що включає, крім інших, детальні магнітні й гравітаційні зйомки. В умовах, коли більшість геологічних масивів (ГМ) гірських порід (ГП) і аномальних тіл (АТ) сильно неоднорідні по аномальній щільності (АЩ) та магнітним властивостям (МВ), містять багато включень більш давніх, важких і легких, сильно або слабо магнітних ГП і проявляються у вигляді безлічі суміщених локальних аномалій, необхідно мати методи стійкого розв'язку (СР) обернених лінійних задач (ОЛЗ) гравіметрії (ОЛЗГ) і магнітометрії (ОЛЗМ) для визначення в блоках сітково-блокової інтерпретаційної моделі (СБІМ) середньої АЩ або середньої інтенсивності намагнічування (ІН) ГП, їхніх варіацій або напрямків зміни. Фізичні параметри (ФП) ГП необхідно також використовувати як початкові умови (ПУ) до АЩ в ітераційних методах (ІМ) при розв'язках обернених нелінійних задач (ОНЗ) для вилучення із гравіметричних або магнітометричних даних (ГД, МД) надійної геологічної інформації про структури АТ та їхні детальні будови стійкими методами (СМ) при малих обсягах апріорних даних (АД) і різнорідних інтенсивних погрішностях поля (ПП) з його програмним перетворенням у багат шарові вертикальні розрізи (ВР) і карти розподілу АЩ або ІН на необхідних висотних рівнях. Для цього, поряд із використанням раніше відомих, необхідно створити нові оптимізаційні ітераційні методи (ОІМ) з ітераційними формулами (ІФ) і критеріями оптимальності (КО), що містять, крім відомих основних ітераційних поправок (ІП), ще й уточнюючі ітераційні поправки (УІП) або глибинні функціональні поправочні коефіцієнти (ФПК) до структурних елементів ІП, які фільтрують не тільки ІП, але й точніше відображають зміни АЩ або ІН від блоку до блоку в СБІМ, що апроксимує АТ. У цьому й полягає основне значення виконаної роботи, яка спрямована на подальший розвиток теоретичної бази наукомістких інформаційних технологій змістовного розв'язку (ЗР) рудно-пошукових обернених задач (ОЗ) геофізики для приросту рудних запасів в Україні.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася 2009-2012р.р. за участю автора в теоретичному забезпеченні геолого-геофізичних досліджень та їх практичній реалізації в Криворізькій комплексній геологічній партії Казенного підприємства «Південукргеологія» в рамках державної теми №22-36 ГПК-50 «Геологічне прогнозне картування М1: 50000» (№ держреєстрації U-03 – 199/6). Потім була продовжена в 2014 р. у Криворізькому національному університеті в рамках теоретичного забезпечення ряду договірних тем та при співпраці автора із Криворізькою геофізичною партією. Завершена робота в 2015 р. у КНУ імені Тараса Шевченка на кафедрі геоінформатики ННІ "Інститут геології". Тема дисертації затверджена на засіданні Вченої ради Криворізького національного університету, протокол №9 від 27 травня 2014р., а науковий керівник затверджений наказом ректора університету № 22-ад від 21.05.2014 р.

Мета дослідження – розробити ітераційні методи розв’язку (МР) обернених лінійних задач гравіметрії та магнітометрії з ітераційними формулами й критеріями оптимізації розв’язку, що містять, поряд з основними, уточнюючі ітераційні поправки та глибинні функціональні поправочні коефіцієнти в їх структурі, і знайти ті з них, які дають стійкий розв’язок оберненої задачі.

Задачі дослідження.

1. Провести аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку теорії методів розв’язку ОЛЗГ і ОЛЗМ у світі й в Україні, визначити основні чинники, які забезпечують стійкість розв’язків екстремальних обернених задач (ЕОЗ) ітераційними методами.
2. Розробити формули уточнюючих ІП до ФП ГП і формули функціональних поправочних коефіцієнтів (ФПК) до структурних елементів ІП.
3. Розробити ітераційні формули з УІП або ФПК і вміщуючі їх критерії умовної й безумовної оптимізації (УО, БО) розв’язку ОЗ.
4. Створити оптимізаційні ІМ стійкого розв’язку ОЗ із критеріями оптимізації по мінімуму суми квадратів (МСК) основних або уточнюючих ІП та їхніх добутоків.
5. Виконати на комп’ютері експериментальні розв’язки ОЗ створеними ІМ на теоретичних моделях (ТМ) і реально вимірених полях (РВП), і знайти ті з них, які дають досить стійкі розв’язки ОЗ, і порівняти їх із розв’язками відомими ІМ.

Об’єкт наукового дослідження – теоретичні та експериментальні методи дослідження геологічного середовища розв’язками ОЗ гравіметрії та магнітометрії.

Предмет наукового дослідження – оптимізаційні методи стійких розв’язків лінійних ОЗ гравіметрії та магнітометрії з уточнюючими ітераційними поправками.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше розроблено й використано в ІФ ряд із уточнюючих ІП до ФП ГП і ряд із УІП до нев’язок гравітаційних і магнітних полів (МП), що дозволило створити два нових рядів незалежних ОІМ для розв’язків ОЛЗ із різними поправками до ФП ГП і з нев’язками поля (НП). Розроблено багатоетапні методики розв’язку ОЛЗ із послідовним використанням комплексів різних методів з УІП до ФП для майже повного подавлення впливу ІП усіх видів на отримання початкового розв’язку ОЛЗ, найбільш близького до реального, чим і забезпечуються більш надійні кінцеві результати інтерпретації (РІ) поля в умовах зміни ФП у горизонтальних напрямках і з глибиною.

2. Отримала подальший розвиток теорія ІМ СР рудно-пошукових ОЛЗГ і ОЛЗМ. Встановлено причину появи в розв’язку ОЗ шкідливого ефекту «занурення й впливання АЦ або ІН ГП», обумовленого спотворенням частками нев’язок поля, одержаних із однієї точки основними ІП для всіх блоків сіткової моделі середовища, розташованих на різних глибинах під тією ж точкою. Запропоновано формули ФПК для більш точного перетворення НП у добавку до АЦ чи ІН кожного блоку й виправлення цього ефекту на наступних етапах розв’язку ОЛЗ.

3. Вперше розроблено критерії, які містять УІП, для оптимізації розв’язків ОЗ по МСК основних або уточнюючих ІП, і для кожного отримані формули обчислення ітераційних коефіцієнтів (ІК). Це дозволило послідовно переходити від розв’язку ОЗ одним ІМ до іншого або вибирати кілька комплексів ІМ для паралельних розв’язків ОЛЗ і отримання результату розв’язку (РР) ОЗ, найбільш близького до істинного.

4. Одержали подальший розвиток ІМ СР ОЗ на основі використання гібридних аналогів фільтрів Вінера-Калмана (ГАФВК) для двох частин поля над однією СБІМ, а також ІМ умовної оптимізації розв'язку ОЗ. За рахунок основних і уточнюючих ІІ перші придбали незалежність їх використання від будь-яких початкових умов, а інші підвищили однозначність розв'язку ОЗ.

5. Отримала подальший розвиток теорія раніше розробленого автором дисертації для лінеаризованих ОНЗ методу розв'язку з КО по МСК НІ при спільному використанні в одній ітерації поля сили тяжіння (ПСТ) і МП при різних СБІМ для кожного поля, що дозволило підвищити однозначність рішення ОЗ.

6. Вперше виконані на комп'ютері експериментальні рішення ОЛЗГ і ОЛЗМ новими методами з використанням УІІ на теоретичних і виміряних полях, і знайдені ті з них, які дають досить СР ОЗ.

Практичне значення отриманих результатів. Використання уточнюючих ІІ і ФКП дозволило істотно збільшити кількість незалежних МР ОЗ, послідовно переходити від розв'язку ОЗ одним ІМ до іншого, вибирати кілька комплексів методів для детального розв'язку ОЗ із багат шаровими моделями, чим і забезпечується більш надійний вибір єдиного змістовного РІ, найбільш близького до істинного. Результати дисертації використані в роботах Криворізької комплексної геологічної партії Казенного підприємства «Південукргеологія» при перевірці гравітаційних і магнітних аномалій бурінням свердловин і при складанні проекту глибинного буріння на глибинах 500-1000 м для прогнозного геологічного картування М 1: 50000 та М 1: 25000 та в роботах Криворізької геофізичної партії при складанні проектів на виконання детальних геофізичних робіт. Методи лінеаризованих ОЗ гравіметрії й магнітометрії використані для вивчення поверхні кристалічного фундаменту (ПКФ) та перевірки бурінням із метою знаходження місць локалізації цінних перевідкладених мінералів кори вивітрювання (КВ). Результати дисертації автора використані при викладанні навчальних дисциплін на кафедрі інформатики та прикладної математики фізико-математичного факультету в Криворізькому національному університеті: «Сучасні проблеми оптимізації», «Методи оптимізації та дослідження операцій», «Аналіз даних», «Чисельні методи (додаткові глави)», «Теорія розпізнавання образів» і при підготовці студентами до захисту кваліфікаційних робіт на звання спеціаліста та магістра.

Особистий внесок здобувача: У наведених в авторефераті роботах автору належить: в [2] – обґрунтування та введення в теорію ітераційних методів КО ОЗ по МСК диференціальних ітераційних поправок 2-го порядку й розробка уточнюючих ІІ 3-го порядку для ІФ; в [6-9] – розробка уточнюючих ІІ вищого порядку, введення в ІІ функціональних та інших поправочних коефіцієнтів за глибину блоків, критеріїв оптимальності та ітераційних методів розв'язку ОЗ по МСК цих поправок; в [3; 4; 10] – теоретична розробка ітераційних методів розв'язку ОЗ із критерієм оптимізації по МСК нев'язок поля й результати їх розв'язку за кінцевими різницями реального поля, вивід в загальному вигляді формули похідної гравітаційного потенціалу цілого порядку з метою отримання формул похідних дробового порядку і застосування для інтерпретації кінцевих дробових різниць реального поля; в [5] – теоретична розробка ітераційних методів умовної оптимізації для пар статистичних критеріїв та способу знаходження коефіцієнта Лагранжа (КЛ);

в [11] – результати розв'язку ОЛЗ з використанням аналогів фільтрів Вінера і Калмана.

Апробація результатів дисертації. Загалом результати дисертації доповідалися більш як на 15 наукових конференціях, у тому числі: на Міжнародних семінарах ім. Д. Г. Успенського «Теория и практика геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей» в 2009, 2011, 2014, 2015 р.р.; на VI-VIII Міжнародних конференціях «Геоінформатика» в 2007-2009 р.р.; на «VIII, IX, X Ежегодных геофизических чтениях им. В.В. Федынского», Москва, 2007-2009р.р.; на VI, VII, VIII Всеукраїнських наукових конференціях «Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища» в 2007,-2012 р.р., м. Київ; на IX Міжнародній науковій конференції «Моніторинг геологічних процесів» в 2009 р., м. Київ та інших.

Публікації: По темі дисертації опубліковано 22 наукових праці, серед яких 14 статей у наукових журналах і збірниках наукових праць, у тому числі: 9 статей у фахових виданнях, 1 стаття у виданні, яке входить до наукометричних баз даних, і 2 – в іноземних наукових виданнях, та 8 тез доповідей на наукових конференціях.

Структура й об'єм роботи. Дисертаційна робота об'ємом 184 стор. (із них облікових – 122) складається із вступу, чотирьох розділів, ілюстрованих 93 рисунками та 3 таблицями, висновків, списку використаних джерел з 226 найменувань і 8 додатків на 89 стор..

Робота виконана на кафедрі геоінформатики УНІ «Інститут геології» Київського національного університету ім. Т. Шевченка.

Автор висловлює щире подяку науковому керівникові д. ф.-м.н. Корчагіну І.Н., д.г.н. Вижві С.А., д.г.н. Курганському В.М., чл.-кор. НАНУ Якимчуку М.А., чл.-кор. РАН Уткіну В.И., д.ф.-м.н. Долгалю О.С., д.г.н. Жукову М.Н., д.г.н. Карпенко О.Н., д.г.-м.н. Євтехову В.Д., д.г.н. Довбничу М.М., д.г.н. Шнюкову С.Е., д.г.н. Нікуліну С.Л., д.г.н. Пігулевському П.Г., к.ф.-м.н. Тішаєву І.В., к.ф.-м.н. Реві М.В., к.ф.-м.н. Назаревичу А.В., к.г.-м.н. Омельченко В.Д., к.г.-м.н. Татаринській О.О., к.г.н. Онищуку І.І., к.г.н. Віршило І.В., к.г.н. Меншову О.І., д.т.н. Доровському В.О., д.т.н. Шелевицькому І.В, ст. геол. КП «Південукргеологія» Мечнікову Ю.П., геофізікам Чепурному В.І. та Зеленчуку В.Г. за вагому наукову допомогу, корисні поради й зауваження на всіх етапах створення й становлення нових методів, їхньої практичної реалізації й оформленні роботи.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність роботи, зазначено на її зв'язок із науковими програмами, планами НДР, викладені мета й основні завдання, визначені наукова новизна, практична цінність і кількісні параметри роботи.

У **першому розділі** приведені дані про сучасний стан розвитку гравіметрії й магнітометрії в зв'язку з потребами геології й промисловості у світі та в Україні, зокрема, у нафтогазових і рудних районах. Відзначається, що геофізична наука майже цілком вийшла на комплексне обслуговування всіх етапів робіт у комп'ютерному виконанні. У той же час наукове обслуговування гравіметрії й магнітометрії для рудних районів мало велике відставання. В основному, виконувалися роботи типу автоматизованого методу підбора по нев'язці поля (НП) і,

переважно, у двовимірному варіанті. Кількість методів машинного розв'язку ОЗ була дуже обмеженою. У критеріальному підборі по НП часто отримують еквівалентні перерозподіли (ЕП) АЩ (ІН), які не відповідають дійсності, але задовольняють вимірюваному полю в межах заданого коридору точності. Ітераційні методи, до появи робіт акад. В.І. Старостенка, не відігравали майже ніякої ролі в теорії інтерпретації геофізичних даних, бо не було належної ітераційної поправки, яка б забезпечувала збіжність розв'язку ОЗ. Після включення в алгоритм ітераційної формули з поправкою В.І. Старостенка та принципів побудови різних КО (Кобрунов О.І., Петровський О.П.) було зроблене часткове приведення рудних обернених задач до коректної постановки шляхом обмеження площі карти поля до розмірів сіткової інтерпретаційної моделі з переведенням алгоритму в розряд фільтраційних, оптимізаційних (екстремальних) ітераційних методів (Міненко П.О.).

Це дозволило дійти до отримання в трьохвимірному просторі стійкого розв'язку ОЗ, відфільтрованого від впливу одиноких високоінтенсивних випадкових інструментальних і методичних ПП, та на порядок збільшити кількість блоків СБІМ з невідомою АЩ чи ІН (1-2-шарова модель до 100 блоків у кожному шарі та до 625 точок виміру поля з точністю 0.08 мГал). Для 3-х та 4-х шарових моделей уже тоді виникали питання про втрату АЩ у розв'язку ОЛЗ для обмежених по вертикалі нижніх блоків. Але тоді якісна картина стійкого розв'язку ОЗ для двох перших шарів задовольняла запити практики, а малі АЩ нижніх блоків, пояснювалися неточним визначенням нижньої границі, за рахунок чого АЩ просто «розмивалася». Отже, незважаючи на суттєві досягнення, детальні розв'язки ОЗ у рудних районах теоретично й методично майже не забезпечувалися. З 2011 року автор дисертації почав виконувати експериментальні розв'язки ОЗ на 6-8 шарових моделях та виявив ряд закономірностей. Для верхніх шарів отримано завищені значення АЩ, а для нижніх – зменшені, практично, до нульових. Те ж саме – і для РВП. Для 2-х шарової СБІМ (глибиною 2x1км) АЩ 1-го шару, хоча й була більшою, ніж АЩ 2-го шару (рис.1.1,а,б), але помітною тільки для ТМ. А для 6-шарової СБІМ (6x400м) АЩ 1-го шару була найбільшою, а в 6-го – майже нульовою (рис.1.1,в). Такому ефекту, спотворюючому РІ, деякі геофізики дали назву «впливання щільності». Зі збільшенням потужності шарів у моделях автор дисертації виявив інверсію ефекту, і для моделей із напівнескінченними вертикальними призмами (НВП) уже спостерігав ефект «занурення АЩ». Аналогічно, для МП у верхній частині розрізу в розв'язку ОЛЗМ отримано збільшення ІН зверху вниз, тобто «занурення ІН», а при збільшенні потужності шарів спостерігається вже «ефект впливання ІН». На величину цих ефектів суттєво впливають інтенсивність та однорідність чи неоднорідність розподілу АЩ (ІН) між блоками моделі в ПУ. Якщо в ПУ для ТМ задати точні значення АЩ чи ІН, то фільтраційний ІМ (ФІМ) швидко дає той же точний розв'язок ОЗ для всіх шарів із нульовою НП, а при великому відхиленні АЩ (ІН) в ПУ від АЩ(ІН) в ТМ, навіть при дуже великій кількості ітерацій, отримуємо дуже велике спотворення розподілу АЩ (ІН) між шарами СБІМ. Не усувають їх і розроблені за участю автора дисертації нові методи умовної оптимізації СР ОЗ, методи суміщення двох полів (ПСТ і МП) в одному КО на одній ітерації, методи суміщення в одному КО кількох різних СБІМ і ПУ для одного поля, або декількох простих КО в одному добутку. Ці ефекти треба було суттєво послабити новими

Таким чином, результати попередніх досліджень автора дисертації зводяться до наступного: 1) використання ФІМ для розв'язків ОЛЗ у рудній геофізиці стало суттєво пріоритетним; 2) на експериментах доведено, що ІМ тільки з УП, без основної П в ІФ, істотно подавляють майже всі профільні та локальні площинні ПП, але не дають остаточного розв'язку ОЛЗ по інтенсивності АЩ чи ІН, для чого розв'язок необхідно продовжувати методами з основною П та з УП в ІФ до виходу рішення ОЛЗ на майже постійну НП.

Наявність перелічених недоліків вимагала обширних додаткових досліджень шляхом експериментальних розв'язків ОЗ на ТМ і РВП із метою створення ОІМ цільового призначення та винайдення нових методичних прийомів при комплексуванні різних ІМ для отримання стійких та ЗР ОЛЗ.

Отже, у **другому розділі** автором розроблені ІМ більш змістовних розв'язків ОЗ з П, ІФ і КО, що опираються на зовсім інші фізико-геологічні зв'язки між полем і сітково-блоковою моделлю, наприклад, між НП в окремих точках та поправками до АЩ (ІН) блоків, залежно від глибини їхнього розташування в моделі або від величин АЩ чи їхніх градієнтів у латеральних чи вертикальних напрямках.

Запропонована формула глибинного ФПК, із його степеневою залежністю від відношення глибин кожного шару h_i до будь-якого зафіксованого шару h_k інтерпретаційної моделі у вигляді $C_{i,1} = (h_i/h_k)^m$ (де $m \in R$), яка вводиться в основну ітераційну поправку В.І. Старостенка

$$B_{i,n} = (a_{i,j} / \lambda_i / \lambda_j, r_{j,n}) = (p_{i,j}, r_{j,n}), \quad (2.1)$$

де $a_{i,j}, b_{i,j} = (a_{i,j})'_z$ - елементи матриць розв'язку прямих задач гравіметрії (ПЗГ) та магнітометрії (ПЗМ) для кожного і-того блоку СБІМ та j-тої точки виміру поля; $r_{j,n}$ - нев'язка поля в j-тій точці на n-тій ітерації ($j=1,N; i=1,M$);

$\lambda_j = (a_{i,j,1}); \lambda_i = (a_{i,j,1}); \lambda_{j1} = (|b_{i,j}|, 1); \lambda_{i1} = (|b_{i,j}|, 1)$ - суми елементів матриці по її стовпцях та строчках; $p_{i,j} = a_{i,j} / \lambda_j / \lambda_i$ - вагові коефіцієнти (ВК) розподілу НП з j-тої точки поля в і-тий блок під тією ж точкою. ФПК $C_{i,1}$ вводиться в ПП в якості вирівнюючого за глибину множника до НП $r_{j,n}$ у такому вигляді:

$$B_{i,n} = (p_{i,j}, C_{i,1} r_{j,n}). \quad (2.2)$$

У цьому скалярному добутку: $r_{j,n}$ не залежить від глибини розташування блоку, $ВК < 1$, а ФПК можна підібрати параметрами h_k та m так, що в розв'язку ОЗ для АТ буде отримана постійна по глибині АЩ, якщо АТ дійсно має постійну по глибині АЩ. Залишається тільки експериментальним шляхом знайти функціональний вид ФПК, бо він залежить не тільки від глибин до блоків, а ще й від висоти та інших розмірів кожного з усіх блоків. У результаті виконання на 1-му етапі розв'язків ОЛЗГ для однієї 6-шарової моделі при різних значеннях m , для двох із них отримано зміну спаду АЩ блоків із глибиною на її зростання, хоча у вибраній моделі щільність АТ на одній вертикалі із глибиною не змінюється. Таким чином, розв'язок ОЛЗГ попав у «виделку» для подальшого уточнення на 2-му та подальших етапах ітераційними методами (ІМ) з іншими уточнюючими ПП, з використанням

різних методик послідовних розв'язків іншими ІМ, із різними ПУ та з різною кількістю ітерацій для кожного з них. Аналогічно, для реального поля виконують розв'язки ОЛЗГ із тією ж моделлю та в тій же послідовності. Порівнюють характер зміни АЩ із глибиною та інтервали інверсії (спаду на зростання АЩ із глибиною) і переходять до слідуєчого етапу розв'язку ОЗ із УП, де основна ІП може використовуватися вже без ФПК. Можливі випадки, коли АЩ чи ІН дійсно змінюються із глибиною. Тоді на 2-му етапі використовуються інші методики підбору початкових умов для ІМ. Згодом автор розробив нові ОІМ розв'язку ОЗ із КО, складеними із простих КО, за допомогою яких виконані дослідження в представленій дисертації, та розроблені нові ОІМ з уточнюючими ІП. Незважаючи на більш високий порядок використаних матриць, більшість УП мають продукуючу структуру, подібну до ІП Старостенка В.І., тобто є нащадками (похідними) названої поправки (підрозд. 2.6). Для їхнього подальшого розгляду зробимо деякі викладки й позначення, які автор або запропонував, або запозичив при спільній зі співавторами розробці окремих методів та використав їх при розробці своїх ОІМ розв'язку ОЗ із модифікованими й уточнюючими ІП:

а) ітераційні формули для АЩ ($\sigma_{i,n,1}$), ІН ($J_{i,n,2}$), ІК ($\tau_{1,n+1}, \tau_{2,n+1}$) з ІП ($B_{i,n}; B_{i,n,2}; C_{i,n}, C_{i,n,2}$), обчислюваними на ітераціях з номерами n та $n+1$:

$$\sigma_{i,n+1,1} = \sigma_{i,n,1} - \tau_{1,n+1} B_{i,n}; \quad B_{i,n} = \sum_i a_{i,j} r_{j,n,1} / \lambda_i \lambda_j; \quad (2.3)$$

$$J_{i,n+1,2} = J_{i,n,2} - \tau_{2,n+1} B_{i,n,2}; \quad B_{i,n,2} = \sum_i b_{i,j} r_{j,n,2} / \lambda_{i,1} \lambda_{j,1};$$

в) нев'язки $r_{j,n,1}$ и $r_{j,n+1,1}$ поля сили тяжіння (ПСТ) $g_{j,1}$ на суміжних ітераціях та КО розв'язку ОЗ в загальному вигляді для декількох ІП:

$$r_{j,n,1} = \sum_i a_{i,j,1} \sigma_{i,n,1} - g_{j,1}; \quad r_{j,n+1,1} = \sum_i a_{i,j,1} \sigma_{i,n+1,1} - g_{j,1}; \quad (2.4)$$

$$F_B = \sum_i B_{i,n+1}^2 = \sum_i (B_{i,n} - \tau_{n+1} D_{1,i,n} - \tau_{1,n+1} D_{2,i,n} - \tau_{3,n+1} D_{3,i,n} + \tau_{4,n+1} D_{4,i,n})^2; \quad (2.5)$$

де $D_{k,i,n} (k=1,4)$ – уточнюючі поправки для основної поправки $B_{i,n}$.

г) критерій оптимізації розв'язку ОЛЗ по МСК ІП до АЩ чи ІН:

$$F_B = \sum_i B_{i,n+1}^2 = \sum_i (B_{i,n} - \tau_{n+1} C_{i,n})^2; \quad (2.6)$$

та формула обчислення ІК для методу простої ітерації (ІП):

$$\text{де } \tau_{n+1} = (B_{i,n}, C_{i,n}) / (C_{i,n}, C_{i,n}) = \tau_{n+1,B}; \quad (2.7)$$

$$K_{i,n} = (a_{i,j} / \lambda_i^\alpha / \lambda_j^\beta, G_j); \quad G_j = (a_{ij}, E_{i,n}); \quad E_{i,n} = (a_{i,j} / \lambda_i^\alpha / \lambda_j^\beta, F_j); \\ F_{j,n} = \sum_i a_{ij,n} C_{i,n}; \quad C_{i,n} = \sum_i a_{ij,n} Z_{j,n} / \lambda_i \lambda_j; \quad Z_{j,n} = \sum_i a_{ij,n} B_{i,n}; \quad (2.8)$$

– уточнюючі ІП вищого порядку по лінії НІ (Z, F, G) та по лінії ІП до АЩ (B, C, E, K); У конкретному вигляді ІП (2.8) мають вигляд, який показує, що ІП $C_{i,n}$ осереднює по 2-х індексах суму основних ІП $B_{i,n}$, помножених на ВК; поправка $E_{i,n}$ осереднює таку ж суму ІП $C_{i,n}$, помножених на ВК, які значно менші 1 и т.д. Це означає, що УП більш високого порядку вирівнюють перекося в НІ, створені за рахунок ІП, і

направляють розв'язок ОЗ в напрямку його фізичної змістовності. В той же час основна ІП в ІФ виконує цю роль значно менше. А тому треба починати розв'язок ОЗ методом, який не має основної ІП в своїй ІФ, наприклад, ІФ по формулі (2.14).

ІП (2.1) є основною ІП або ІП 1-го порядку до АЩ, а ІП (2.8) в (2.6)-(2.7) є поправкою 2-го порядку до АЩ та поправкою 1-го порядку до ІП (2.1) в ІФ (2.9);

д) ітераційна формула зв'язку між ІП на суміжних ітераціях

$$B_{i,n+1} = B_{i,n} - \tau_{1,n+1} C_{i,n}; \quad (2.9)$$

е) критерій оптимізації розв'язку ОЛЗ по МСК НІП:

$$F_r = \sum_{j=1}^N (r_{j,n+1})^2 = \sum_{j=1}^N (r_{j,n} - \tau_{n+1} Z_{j,n})^2 = \min(\tau_{n+1}); \quad (2.10)$$

та формула обчислення ІК для МР ОЛЗГ по МСК нев'язок поля

$$\tau_{n+1} = (r_{j,n}, Z_{j,n}) / (Z_{j,n}, Z_{j,n}) = \tau_{n+1,r}; \quad (2.11)$$

ІП Z є поправкою 1-го порядку до нев'язки поля у формулі зв'язку для НІП

$$r_{j,n+1} = r_{j,n} - \tau_{n+1} Z_{j,n}; \quad (2.12)$$

ІП F є поправкою 2-го порядку до нев'язки поля й поправкою 1-го порядку до поправки Z у формулі $Z_{j,n+1} = Z_{j,n} - \tau_{n+1} F_{j,n};$ (2.13)

У підрозд.2.4 приведено два взаємно обернених метода УО з простими КО по МСК ІПІ при МСК НІП ($B2+LnR2$) та по МСК НІП при МСК ІПІ ($R2+LnB2$). Автор приймав участь у розробці методів УО, і знайшов рівняння умови, за допомогою якої визначаються коефіцієнти Лагранжа (КЛ) λ_n , яке потім замінив на більш незалежне від основного простого КО ($B2$ чи $R2$)

А після розробки уточнюючих ІП автор на їхній основі самостійно розробив ряд стійких методів УО. Так, для основної ІФ

$$\sigma_{i,n+1} = \sigma_{i,n} - \tau_{n+1} C_{i,n} \quad (2.14)$$

автор запропонував метод УО:

$$F_{(rB)} = \sum_j (r_{j,n} - \tau_{n+1} F_{j,n})^2 + 2\lambda_n \sum_i (B_{i,n} - \tau_{n+1} E_{i,n})(1 - \tau_{n+1}) = \min; \quad (2.15)$$

$$\tau_{n+1} = \frac{(r_{j,n}, F_{j,n}) + L(B_{i,n} + E_{i,n}, I)}{(F_{j,n}, F_{j,n}) + 2L(E_{i,n}, I)}; \quad \lambda_n = \sum_j (r_{j,n} \lambda_j) / M;$$

В результаті розв'язку ОЛЗГ двома приведеними методами УО отримані майже однакові вертикальні розрізи АЩ.

У подальшому структура УІП 3-го порядку та КО на їхній основі формується, відповідно, до структури ІП 1-го та 2-го порядку за формулами (2.8) та ІФ (2.3), (2.9), (2.12) та (2.13). У співавторстві розроблено стійкий МР ОЛЗ для полінома із квадратичною поправкою до АЩ (розд.А.1) та для змінної щільності за поліномом 4-го порядку, що забезпечує більш точний розв'язок ОЗ, ніж при умові апроксимації ГМ трьома шарами з постійною АЩ в кожному шарі (розд.А.2). Квадратичний член полінома B^2 є уточнюючою частиною до ІП 1-го порядку B і забезпечує більш

точний та швидкий розв'язок ОЗ, тобто з меншою кількістю ітерацій. Ці методи використано для вивчення структур: а) південного замикання Криворізького синклінорію, де сумісним розв'язком ОЗ для двох СБІМ встановлено виклинювання залізистих пластів на глибині 1700-1900 м (розд.А.3); б) Макарівської мульди на Родіонівській дільниці Західного Кривбасу, складеної карбонатними ГП із проявами на її бортах вкрапленої мідної та рідкоземельної мінералізації (п. А.2.1), що підтверджено бурінням свердловин (додаток Ж).

Як правило, ФІМ використані у варіанті з одним ІК для всіх блоків СБІМ. Навіть при виборі моделі з одним ІК на кожен шар, розв'язок ОЗ не є фізично змістовним (ФЗ) і суттєво відрізняється від розв'язку ОЗ із одним ІК для всієї СБІМ.

У цьому ж розділі наведена множина різних ОІМ стійких розв'язків ОЗ, які автор розробив для подальшого зниження впливу явища ЕП і підвищення однозначності розв'язків ОЗ, а також для контролю розв'язків (КР) іншими методами. Перейдемо до їхнього опису. Одним із таких методів є метод сумісного розв'язку оберненої лінеаризованої нелінійної задачі гравімагнітометрії (ОЛНЗГМ) шляхом оптимізації загального критерію, який складено як добуток трьох простих КО. Але, у загальних критеріїв, розроблених попередниками, два прості КО мають один спільний параметр – глибину до кожного блоку СБІМ, тобто сумісна ОЛНЗГМ розв'язувалася для однієї СБІМ. На жаль, такої відповідності між АЦ та ІН у рудних районах майже ніколи не буває. А тому, при використанні трьохшарових СБІМ із блоками у вигляді НВП зі сталими по вертикалі АЦ та ІН, досягти ФЗ розв'язків ОЗ, практично, неможливо. На заводі до цього майже в кожному блоці СБІМ існує нерівномірний розподіл фізичних властивостей. З одного боку, верхня частина блоку вміщує окислені, а середня – напівокислені гірські породи. А з іншого, магнітні ГП мають дуже нерівномірний розподіл магнітних мінералів по об'єму породи при нерівномірній ІН самих мінералів. У зв'язку із цим у рудних районах щільність ГП також має дуже нерівномірний розподіл. Це приводить до того, що для отримання стійкого та ЗР ОЗ треба використовувати СБІМ, яка складається з більшої кількості шарів. Як мінімум, кожен шар треба розділити на два – на верхній і нижній прошарки. Таким чином, модель повинна мати від 4-х до 6-ти шарів. Але, багатошарова модель розв'язку ОЛЗ має недоліки (додаток Б) через еквівалентний перерозподіл (ЕП) фізичних властивостей в інші шари: «затоплення» АЦ у моделях із напівнескінчених блоків, і «випливання» АЦ при використанні обмежених з усіх сторін блоків.

Виходом із такого становища може бути використання двох моделей: першої для гравітаційного поля, а другої для МП, причому з різними глибинами до блоків з АЦ і до намагнічених блоків. Для зв'язку між простими КО використовується норма розбіжності між глибинами до однойменних блоків. Загальний КО для розробленого автором СМ складемо із часткових КО (ЧКО) для сумісної ОЛНЗГМ:

$$\Phi_{r,h} = F_{r,1} F_h F_{r,2} = \min; \quad F_{r,1} = \sum_j r_{j,n+1,1}^2; \quad F_{r,2} = \sum_j r_{j,n+1,2}^2$$

$$F_h = \sum_i (h_{i,n,1} - h_{i,n,2} - \mu_{1,n+1} C_{i,n,1} + \mu_{2,n+1} C_{i,n,2})^2$$

(2.16)

де $h_{i,n+1,1} = h_{i,n,1} - \mu_{1,n} C_{i,n,1}$; $h_{i,n+1,2} = h_{i,n,2} - \mu_{1,n} C_{i,n,2}$; – ІФ для глибин до блоків 1-ої та 2-ої моделей з ПУ, ІК та ІІ 2-го порядку.

КО F_h виконує функцію зближення обчислених глибин до магнітних і гравітуючих блоків та глибин до їхніх реальних границь. Завдяки цьому ітераційний процес збігається до найменшої НІІ.

Невідомі в (2.16) ІК отримаємо із системи 4-х рівнянь:

$$\begin{aligned} (\Phi_{r,h})'_{\mu_{1,n+1}} &= (F_{r,1})'_{\mu_{1,n+1}} F_h + F_{r,1} (F_h)'_{\mu_{1,n+1}} = 0; \\ (\Phi_{r,h})'_{\mu_{2,n+1}} &= (F_{r,2})'_{\mu_{2,n+1}} F_h + F_{r,2} (F_h)'_{\mu_{2,n+1}} = 0; \\ (\Phi_{r,h})'_{\tau_{1,n+1}} &= (F_{r,1})'_{\tau_{1,n+1}} = 0; \quad (\Phi_{r,h})'_{\tau_{2,n+1}} = (F_{r,2})'_{\tau_{2,n+1}} = 0; \end{aligned} \quad (2.17)$$

В дисертації приведено повний виклад методу (2.20)-(2.23).

Для перевірки змістовності розв'язків виявився корисним метод оптимізації складеного критерію, у якому один простий критерій представлений МСК нев'язок одного поля, а другий – МСК поправок будь-якого порядку до ФІІ другого поля, наприклад, 1-го або 2-го порядку:

$$\Phi_{r,h,B} = F_{r,1} F_h F_{B,2} = \min; \quad \Phi_{r,h,E} = F_{r,1} F_h F_{E,2} = \min; \quad (2.18)$$

Аналогічно розроблено ІМ для КО при спільних глибинах до обох моделей:

$$\Phi_{r1+r2} = F_{r,1} + \lambda (F_{r,2})'_{\mu_{n+1}} = \min; \quad (2.19)$$

За участю автора розроблено ряд ефективних методів стійкого розв'язку ОЗ, які на одній ітерації дають серію розв'язків для виявлення різних властивостей геологічного середовища. Приведемо в компактному вигляді три таких метода, які використовуються окремо для розв'язків оберненої лінійно-нелінійної задачі гравіметрії та магнітометрії (ОЛНЗГ та ОЛНЗМ) із метою отримання ПУ для ОЛНЗГМ. Складемо загальний КО для кожного методу: для максимальних скачків АЩ на границях при МСК нев'язок поля (Φ_1), для МСК НІІ й АЩ (Φ_2) та тільки для МСК НІІ (Φ_3) по всій карті поля:

$$\Phi_1 = F_r / F_\sigma = \min; \quad \Phi_2 = F_r F_\sigma = \min; \quad \Phi_3 = F_r = \min; \quad (2.20)$$

$$\text{де } F_\sigma = \sum_i (\sigma_{i,n} - \tau_{n+1} B_{i,n})^2; \quad F_r = \sum_j (r_{j,n+1} / \lambda_{j,n})^2;$$

Розглянемо ще один тип ОІМ з УІІ. Якщо можна брати ІІ чи УІІ до АЩ, то чому б її не взяти для елементів матриці розв'язків прямих задач гравіметрії (див. п. А.1.2). Вхідні елементи матриці розв'язків ПЗГ у нас позначені як a_{ij} , а нові, виправлені на наступній ітерації, позначимо – d_{ij} . Тоді складемо КО $F_{Br} = F_r F_B = \min$ для ІФ

$$d_{ij,n} = d_{ij,n} - \mu_{n+1} \lambda_{i,n} / \lambda_{j,n}^2 \text{ при ПУ } d_{ij,o} = a_{ij}; \quad (2.21)$$

Помножимо ІФ на щільність $\sigma_{i,n}$, просумуємо по i , віднімемо після цього від лівої та правої частин рівняння поле g_j і в результаті отримаємо нев'язку поля:

$$r_{j,n+1} = r_{j,n} - \mu_{n+1} D_{j,n}; \quad D_{j,n} = (d_{ij,n} \lambda_i / \lambda_j^2); \quad (2.22)$$

Після виконання процедур оптимізації по МСК НІІ отримаємо ІК для ІФ (2.21):

$$\mu_{n+1} = (r_{j,n}, D_{j,n}) / (D_{j,n}, D_{j,n}) \quad (2.23)$$

Перерахованими методами не вичерпується їхній запас. У цьому розділі викладені основні принципи методики їхнього використання в різних модифікаціях. Крім того, майже по кожному методу наведені ілюстровані рисунками приклади стійких та змістовних розв'язків ОЛЗГ до ОЛНЗГМ.

Таким чином, ми розглянули досить велику кількість розроблених автором методів стійкого розв'язку ОЗ на базі відомого методу ІІ з ІІ 1-го порядку, які з КО для МСК по поправках до АЩ є строго фільтраційними. Але, без знання глибин до АТ, у залежності від розподілу ІІ, ОЛЗ має, різні результати, хоча й дуже стійкі. Основний недолік відомих МР ОЗ полягає в тому, що ІІ формуються у вигляді сум доданків, представлених помноженими на вагові фільтраційні коефіцієнти нев'язками поля, у які входять ІІ, спотворюючи розв'язок ОЗ, особливо на глибині. А тому метою роботи є отримання ІІ, на які менше впливають ІІ, що забезпечує більш зглажений розв'язок ОЗ на глибині.

Поставлена ціль досягається тим, що використовують КО тієї частини нев'язки поля, яка виникає в ітераційному процесі за рахунок поправки до АЩ, тобто треба розробити *метод розв'язку ОЗ із КО по МСК ітераційних добавок $Z_{j,n+1}$ до нев'язок поля $r_{j,n}$, яким зручніше за все дати назву диференційних нев'язок поля:*

$$F_Z = \sum_j Z_{j,n+1}^2 = (a_{ij,n+1}, B_{i,n+1}) = \min; \quad (2.24)$$

$$\text{де: } a_{ij,n+1} = a_{ij,n} + \mu_{n+1} b_{ij,n} C_{i,n}; \quad C_{i,n} = \sum_i b_{ij} r_{j,n} / \lambda_i \lambda_j;$$

Аналогічно можна поставити задачу оптимізації тієї частини ІІ до АЩ, яка виникає в ітераційному процесі за рахунок тієї частини ІІ, що виникла в ітераційному процесі за рахунок поправок до АЩ, тобто, треба розробити *метод розв'язку ОЗ із КО по МСК диференційних поправок до щільності АТ:*

$$F_E = \sum_i E_{i,n+1}^2 = \sum_i (a_{ij,n+1} / \lambda_i \lambda_j, Z_{j,n+1})^2 = \min; \quad (2.25)$$

$$E_{i,n} = (a_{ij,n} / \lambda_i \lambda_j, Z_{i,n});$$

Автором розроблено ряд методів ІІ для кожної ІФ із різними УІІ. Майже всі методи з ІІ 3-4 порядку по лінії ІІ чи по лінії поправок до АЩ запрограмовані й перевірені розв'язками ОЛЗ на реальних і теоретичних полях. Майже для всіх методів установлена збіжність ітераційного процесу, стійкість та ЗР ОЗ. Складені таблиці переходів від однієї ІІ до будь-якої іншої в різних методах із різними КО: з однією, двома чи трьома ІІ в ІФ та відповідних їм ІІ у КО (див. табл.2.1).

Методи із трьома ІІ в ІФ та КО використані для зменшення ефекту «впливання щільності» в розв'язку ОЛЗГ чи «занурення ІН» у розв'язку ОЛЗМ, що є ні чим іншим, як ефектом ЕП.

Складемо ІФ для АЩ. Припишемо до АЩ ІІ 1-го порядку – $B_{i,n}$ та уточнюючі ІІ 2-го порядку – $C_{i,n}$ і 3-го порядку – $E_{i,n}$:

$$\sigma_{i,n+1} = \sigma_{i,n} - \tau_{1,n+1} B_{i,n} - \tau_{2,n+1} C_{i,n} - \tau_{3,n+1} E_{i,n}; \quad (2.26)$$

Відповідний до (2.26) КО по МСК поправок до АЩ має вигляд (індекси номерів ітерацій для спрощення запису опустимо):

$$F_{(BCEK)} = \sum_i B_i^2 = \sum_i \left(B_i + \tau_1 C_i + \tau_2 E_i + \tau_3 K_i \right)^2 = \min; \quad (2.27)$$

Аналогічно формулі (2.27) для метода з ІФ (2.26) по МСК НП складемо формулу КО із НП та приписаної до неї основної ІФ 1-го порядку – $Z_{j,n}$ разом з уточнюючими ІФ 2-го та 3-го порядків – $F_{j,n}$ і $G_{j,n}$ по лінії НП:

$$F_{(rZFG)} = \sum_j r_j^2 = \sum_j \left(r_j + \tau_1 Z_j + \tau_2 F_j + \tau_3 G_j \right)^2 = \min; \quad (2.28)$$

Прирівнюючи до нуля три похідні від (2.27) чи (2.28) по ІК, отримаємо по три рівняння для визначення ІК, розв'язки яких також приведені в дисертації.

Таблиця 2.1

Поправки для критеріальних функцій в ітераційних формулах

| Функції для КО | Поправка 1-го порядку для КО | Поправка 2-го порядку для КО | Поправка 3-го порядку для КО | Примітка |
|------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| $\sigma_{i,n+1}$ | $B_{i,n}$ | $C_{i,n}$ | $E_{i,n}$ | Поправки для основної ІФ |
| $r_{j,n+1}$ | $Z_{j,n}$ | $F_{j,n}$ | $G_{j,n}$ | УІП для НП, як функції КО |
| $B_{i,n+1}$ | $C_{i,n}$ | $E_{i,n}$ | $K_{i,n}$ | УІП до ІФ 1-го порядку для КО |
| $Z_{j,n+1}$ | $F_{j,n}$ | $G_{j,n}$ | $P_{j,n}$ | УІП до ІФ 1-го порядку для КО по НП |
| $C_{i,n+1}$ | $E_{i,n}$ | $K_{i,n}$ | $S_{i,n}$ | УІП до ІФ 2-го порядку |
| $F_{j,n+1}$ | $G_{j,n}$ | $P_{j,n}$ | $V_{j,n}$ | УІП до ІФ 2-го порядку по лінії НП |
| $E_{i,n+1}$ | $K_{i,n}$ | $S_{i,n}$ | $T_{i,n}$ | УІП до ІФ 3-го порядку |
| $G_{j,n+1}$ | $P_{j,n}$ | $V_{j,n}$ | | УІП до ІФ 3-го порядку по лінії НП |
| $K_{i,n+1}$ | $S_{i,n}$ | $T_{i,n}$ | | УІП до ІФ 4-го порядку |

Експериментами на моделях і реальних полях встановлено, що методи (2.26)-(2.27) із трьома УІП дають найбільш змістовні розв'язки ОЛЗ, максимально наближені до реального розподілу фізичних параметрів у ГМ, які уточнюючими поправками ущільнюють розподіл ФП навколо центрів та осей АТ і суттєво запобігають розмиванню аномальних мас далеко за межі їхніх контурів.

Автором розроблені більш складні ФІМ зі складеними КО, у яких два або три простих КО поєднані в один добуток або частку, та виконана лінеаризація методу з отриманням збіжних методів СР ОЗ та ІК для них з ІФ різного порядку:

$$F_{B,C} = \sum_i \left(B_i - \tau_4 C_i \right)^2 = \sum_i (C_i - \tau_4 E_i)^2 = \min; \quad (2.29)$$

де $\tau_4 = A_{13} / A_{12}$;

$A_{12} = A_9 A_{10} + A_7 A_7 + 4 A_{11} A_8$;

$A_{13} = A_8 A_{10} + A_{11} A_7$;

$A_{10} = (B_i, B_i)$; $A_{11} = (B_i, C_i)$;

$$A_7 = (C_i, C_i); \quad A_8 = (C_i, E_i); \quad A_9 = (E_i, E_i);$$

$$F_{B,C,r} = \sum_i \left(\left(C_i - \tau_5 C_i \right)^2 + \sum_j \left(C_j - \tau_5 Z_j \right)^2 \right) = \min; \quad (2.30)$$

$$\text{де } \tau_5 = A_{15}/A_{14}; \quad A_4 = (r_j, r_j); \quad A_5 = (r_j, Z_j); \quad A_6 = (Z_j, Z_j);$$

$$A_{14} = A_4 A_{12} + A_{10} A_6 A_7 + 4 A_{13} A_5; \quad A_{15} = A_4 A_{13} + A_{10} A_7 A_5;$$

Ці методи зі складеними КО дають більш збіжний та однозначний розв'язок ОЗ, ніж методи із простими КО та ітераційними поправками тільки 1-го порядку.

У **третьому розділі** розроблено ряд із 6 нових більш точних (за рахунок ІП та УПП) МР ОЗ із використанням ГАФВК для знаходження по двох частинах поля з різними ІП початкового розв'язку ОЛЗ, найбільш близького до реального, при комплексувани з іншими методами. Приведемо ІФ та КО розв'язку ОЛЗГ для одного з них: складемо ІФ з ІК W_{11} і т.д для 1-ої частини поля і 1-ої СБІМ (п.3.1.1):

$$J_{1,n+1,i} = J_{1,n,i} + W_{11} J_{2,n,i} + W_{12} B_{1,n,i}; \quad (3.1)$$

Помножимо (3.1) на елемент матриці впливу й віднімемо поле, виміряне в кожній j -тій точці 1-ої частини поля, після чого отримаємо формулу зв'язку для НІП:

$$\left(C_{1,i,j}, J_{1,n+1,i} \right) Z_j = \left(C_{1,i,j}, J_{1,n,i} \right) Z_j + W_{11} \left(C_{1,i,j}, J_{2,n,i} \right) + W_{12} \left(C_{1,i,j}, B_{1,n,i} \right) =$$

$$= r_{1,n+1,j} = r_{1,n,j} + W_{11} A_{11,j} + W_{12} A_{12,j}; \quad (3.2)$$

Утворимо КО по МСК НІП:

$$\sum_j r_{1,n+1,j}^2 = \sum_j \left(C_{1,n,j} + W_{11} A_{11,j} + W_{12} A_{12,j} \right) = \min; \quad (3.3)$$

Візьмемо від нього похідні, прирівняємо їх до нуля й отримаємо СЛАР для визначення ІК, яка приведена в дисертації. Аналогічно, отримаємо ІФ для 2-ої частини поля та КО, з якого отримують СЛАР для визначення ІК по другій СБІМ:

$$J_{2,n+1,i} = J_{2,n,i} + W_{21} J_{1,n,i} + W_{22} B_{2,n,i}; \quad (3.4)$$

$$\left(C_{2,i,j}, J_{2,n+1,i} \right) Z_j = \left(C_{2,i,j}, J_{2,n,i} \right) Z_j + W_{21} \left(C_{2,i,j}, J_{1,n,i} \right) + W_{22} \left(C_{2,i,j}, B_{2,n,i} \right) =$$

$$= r_{2,n+1,j} = r_{2,n,j} + W_{21} A_{21,j} + W_{22} A_{22,j}; \quad (3.5)$$

$$\sum_j r_{2,n+1,j}^2 = \sum_j \left(C_{2,n,j} + W_{21} A_{21,j} + W_{22} A_{22,j} \right) = \min; \quad (3.6)$$

Таким же чином складемо ІФ та формулу зв'язку ІП до ФП, для утворення КО по 1-ій частині поля й 1-ій СБІМ (підрозд. 3.3):

$$J_{1,n+1,i} = J_{1,n,i} + W_{11} B_{2,n,i} + W_{12} B_{1,n,i} + W_{13} C_{2,n,i}; \quad (3.7)$$

$$B_{1,n+1,i} = B_{1,n,i} + W_{11} C_{2,n,i} + W_{12} C_{1,n,i} + W_{13} E_{2,n,i};$$

Уперше створено оптимізаційні ітераційні методи із застосуванням раніше відомих формул для гібридних аналогів фільтрів Вінера-Калмана, які разом із ФП за двома моделями містять УПП до них аж до 4-го порядку, чим і забезпечується збіжність методів по кожній СБІМ, починаючи з нульових НУ без застосування іншого, стартового методу вирішення ОЗ. Методи ГАФВК реалізовані на реальних магнітних і гравітаційних полях (п.3.1.6, п.А.1.1 та підрозд.4.1). Але, і тут явища «впливання» й «утоплення» фізичного параметра в рішеннях ОЗ усуваються й придушуються тими ж прийомами й методами, що й для інших ІМ по ІП до АЦ або НІП, викладеним у розд. 1 і 2 та в додатку Б.

У четвертому розділі приведені результати використання розроблених автором ОІМ ЗР ОЗ при інтерпретації гравітаційного та магнітного полів, вимірюваних у районі Південного замикання Криворізького синклінорю, на Олександрівській площі, Родіонівській, Миколаївській, Миколо-Гулакській, та Христофорівській ділянках Західного Кривбасу та магнітних аномалій на площах Петрівського та Артемівського залізрудних родовищ Північного Кривбасу. На всіх площах отримані карти розподілу АЩ чи ІН ГП. Для деяких отримані карти глибин до поверхонь нашарування кожного шару, а для багатьох побудовані ВР або схеми розподілу АЩ та ІН ГП. Пряме перенесення методів розв'язку ОЗ по РВП для 3-шарових моделей із ПВП на 8-шарові з обмеженими призмами призводить до незадовільних результатів: замість реального розподілу ФВ у ВР ми отримуємо ЕП АЩ або ІН, який тільки в 1-му й 2-му шарі близький до реального. Використання методів із трьома УП різного порядку після коригування розв'язку по АЩ 2-го шару дозволяє отримати близький до реального розподіл фізичних властивостей у вертикальній площині для СБІМ із 6-8 шарів. За рахунок обчислення для двох-трьох шарів моделі горизонтальних компонент вектора ІН удалося майже повністю усунути ефект появи в рішенні ОЗ помилкової оберненої намагніченості. Отримано нові відомості за рахунок різницевого ефекту по глибинах і ФВ ГП при зміщенні СБІМ на невелику відстань, що рівносильно інтерпретації карти градієнта поля з будь-якого напрямку. Методами автора виконано спільне рішення ОЗ по магнітному й гравітаційному полях за двома моделями з різними глибинами до магнітних і гравітуючих блоків. Уперше за спільними парними значеннями АП та ІН побудовані карти ідентифікації блоків ГП для шарів СБІМ.

Розроблені автором методи дозволяють вивчати глибинну будову геологічних структур, з метою прогнозування перспектив розробки рудної сировини й вуглеводнів у нових регіонах і на діючих родовищах корисних копалин. Істотно поліпшені результати отримані розв'язком нелінійних ОЗ для СБІМ при постійних скачках АЩ чи ІН на границях шарів.

Для ілюстрації продовжимо опис детальних результатів розв'язку ОЛЗГ по полю Олександрівської дільниці Південного Кривбасу (рис.1.1,а), де, з одного боку, отримано високу точність та СР ОЗ, а з іншого, виявлено наявність диференціації АЩ в усіх напрямках. Спочатку для 2-шарових СБІМ із КВП (рис.1.1.б) отримано середні АЩ 2-х шарів, які між собою майже не відрізняються. Потім для 6-шарової СБІМ на 1-му етапі отримано різкий спад АЩ із глибиною майже від реальної в 1-му шарі до нульової АЩ в 6-му шарі (рис.1.1,в). Потім перейшли до 2-го етапу розв'язку ОЛЗГ (рис.1.1.г-е). Для цього задали ПУ для всіх шарів по АЩ 2-го шару з розв'язку ОЛЗГ на 1-му етапі. На карті 6-го шару нового рішення маємо майже такий однаковий розподіл АЩ у всіх шарах, як і для 2-х шарової СБІМ (рис.1.1.г).

Але на ВР ми маємо зміни горизонтальної потужності вертикальних шарів із ростом глибини (рис.1.1, д,е), тобто оптимізація розв'язку ОЛЗГ була продовжена, зменшуючи середньо-квадратичну НП із 0,107 до 0,076 мГал/км, а це вказує на високу якість відновлення поля, яка також підтверджується ще й відповідністю форм ізоліній на картах поля та АЩ блоків в усіх шарах СБІМ.

Приведемо ще один приклад, де виконано послідовно майже десятком ОІМ розв'язок ОЛЗМ із метою детального вивчення структури АТ на Миколо-Гулакській

дільниці (результати та карта МП тут не приведені). Потім розв'язок ОЛЗМ був продовжений методом RZFG із ПУ, узятими по ІН 3-го шару з розв'язку на попередньому етапі. Установлено, що центральна частина АТ (X=15;Y=8) вміщує слабомагнітне вертикальне тіло розмірами (300x250м², рис.4.1,а,в). Саме ж магнітне тіло розділено на частини слабомагнітними меридіональними зонами шириною 100-150м, а його частини мають майже однакову ІН по глибині та латералі, крім блоків 1-го та 2-го шарів до глибин 80 та 150 м, де вони значно й нерівномірно окислені та напівокислені. Дане АТ розбурене свердловинами геологічної зйомки М1:50000 (№№13499-13505, на рисунках не показані) і представлено «останцями» амфіболітів та піроксенітів серед графіт-біотитових гнейсів та мігматитів, пронизаних аплітовими гранітами та пегматитами.

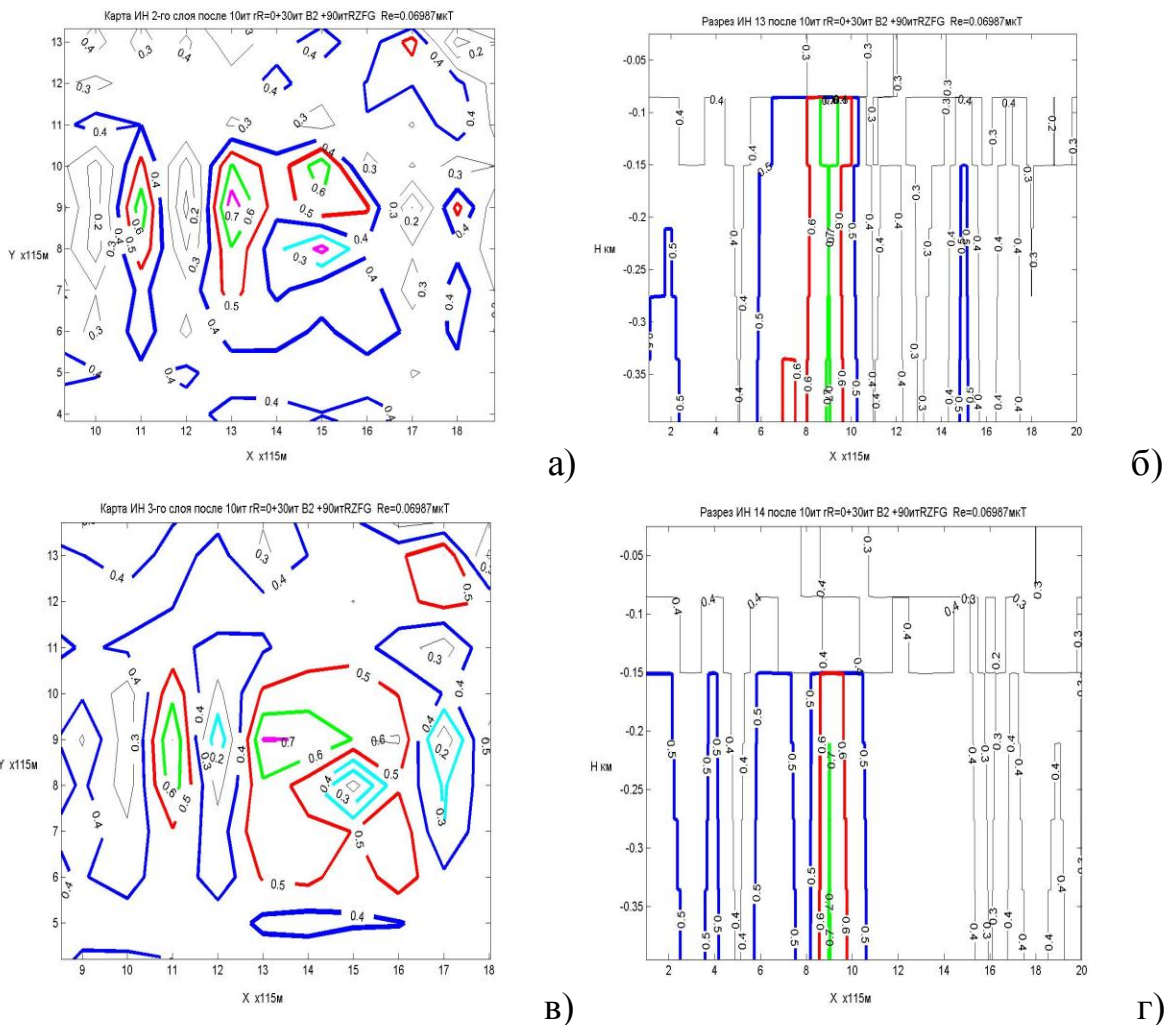


Рис.4.1. Остаточні результати послідовного розв'язку ОЛЗМ комплексом ОІМ з вирівнюванням ПУ по ІН 3-го шару з попереднього етапу: а,в) карти ІН 2-3-го шару (в А/м); б,г) ВР ІН в координатах (Y, Z=Н км) по профілях X=13 та 14 км (рис.4.1,а) (по горизонталі на ВР відкладені координати Y, 1 од.=115м)

ВИСНОВКИ

Створені нові оптимізаційні ітераційні методи (ІМ) стійких і змістовних розв'язків ОЛЗ, побудовані на основі ітераційних формул (ІФ) і оптимізаційних критеріїв, що містять, крім основних, уточнюючі ітераційні поправки (ІП), для чого:

1. Отримала подальший розвиток теорія ІМ СР рудно-пошукових ОЛЗ. Установлена можливість ІМ з однією ІІ вищого порядку подавлювати на 1-му етапі ІІІ, розподілені по ділянках профілів і по площі. Установлено причину появи в розв'язку ОЛЗ шкідливого ефекту «занурення й впливання АЩ чи ІН блоків ГП» і запропоновані формули ФПК й ІМ для більш точного перетворення ІІІ у добавку до АЩ чи ІН блоків ГП на 2-му й подальшому етапах розв'язку ОЛЗ.

2. Уперше розроблено для в ІФ ІМ ряд з 6 уточнюючих ІІ до фізичних параметрів (ФП) ГП і до ІІІ, що дозволило на 2-му й наступних етапах переходити від розв'язку ОЗ одним ІМ до іншого, з найбільш близьким до дійсного розв'язком.

3. Уперше створено новий ІМ безумовної оптимізації стійких розв'язків (СР) ОНЗ, шляхом спільного використання декількох критеріїв оптимізації (КО) для двох інтерпретаційних моделей із різними межами розділу неоднорідних магнітоактивних і гравітуючих шарів, з метою виділення їхніх границь.

4. Одержали подальший розвиток методи СР ОЛЗ для гібридних аналогів фільтрів Вінера-Калмана із двома КО по двох частинах поля, які разом з уточнюючими ІІ дають більш точний збіжний розв'язок від нульових початкових умов (ПУ), а тому не вимагають початку рішення іншим стартовим ІМ.

5. Отримали подальший розвиток оптимізаційні ІМ СР ОЗ із використанням постійних по латералі скачків ФП на границях шарів, з уточненням елементів матриць розв'язку прямих задач гравіметрії та магнітометрії, з визначенням горизонтальних компонент вектора ІН ГП по вертикальній компоненті вектора магнітного поля, врахування яких в алгоритмі підвищує однозначність розв'язку ОЗ і значно послаблює появу в ньому помилкової від'ємної вертикальної компоненти ІН. Разом із тим, слід зазначити, що майже на всіх ділянках, крім Христофорівської та Гурівської, через великі розміри сітки вимірювання поля, геологічні масиви апроксимуються моделями із блоками значно більших розмірів, що не дає можливості детально відтворити структури РКК, особливо залізорудних, для яких необхідно використовувати моделі з більш дрібними блоками й більш потужні комп'ютери для вирішення ОЛЗ із набагато більшою кількістю невідомих у СЛАР.

6. Уперше виконані на комп'ютері експериментальні розв'язки ОЛЗ новими методами з використанням уточнюючих ІІ на теоретичних і вимірних реальних полях, по яких виявлені закономірності у відхиленні рішень ОЛЗ від закону зміни ФП із глибиною, і розроблені ІМ із двома уточнюючими ІІ і методичні прийоми для правильного продовження розв'язку ОЛЗ.

7. Виконано розв'язки ОЗ різними методами автора на декількох ділянках Великого Кривбасу з метою геофізичного забезпечення робіт по геологічному прогнозуванню М1:50000 площ, перспективних на рудні корисні копалини. Отримані вертикальні розрізи та карти розподілу АЩ та магнітних властивостей у ГМ дозволили більш цілеспрямовано вести геологічні дослідження й виявити ряд рудних проявів і зруденінь, у тому числі, мідного й рідкоземельного на Родіонівській ділянці, нікелеве й рідкоземельне на Олександрівській площі, бокситові на Південно-Криворізькій та Східно-Інгулецькій ділянках.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в наукових фахових виданнях України:

(які входять до переліку ДАК МОН України)

1. Экстремальная обратная задача гравитационного и магнитного полей с общим критерием оптимизации / **Роман Вадимович Миненко** // «Геоінформатика». - К., 2011. - №1 – С.48-50.

2. Упрощенные алгоритмы решения обратных задач гравиметрии фильтрационными методами// Миненко П.А., **Миненко Р.В.** / Геоинформатика. - К., 2012. - №2(42). - С.27-29.

3. Похідні дискретно заданого поля в обернених задачах гравіметрії та магнітометрії // П. О. Міненко, **Р.В. Міненко** // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія.- 2012.- №58.- С. 61-65.

4. Фильтрационные методы устойчивого решения обратных задач для конечных разностей поля // Миненко П.А., **Миненко Р.В.** / «Доповіді НАН України». - 2013. - №4, с.86-92.

5. Методы устойчивого решения обратных задач гравиметрии и магнитометрии на основе статистических критериев оптимизации // Миненко П.А., **Миненко Р.В.** / «Доповіді НАН України». - 2013. - №6, с.137-141.

6. Обернені лінійні задачі гравіметрії та магнітометрії з уточнюючими ітераційними поправками вищого порядку / **Р.В. Міненко**, Миненко П.А. // Вісник КНУ імені Тараса Шевченка. Геологія. - 2014. - №64. - С. 78-82.

7. Сучасний стан проблеми стійких розв'язків обернених лінійних задач гравіметрії / **Міненко Р.**, Міненко П., Мечніков Ю. // Вісник КНУ імені Тараса Шевченка. Геологія. - 2015.- №1(68). - С. 86-93.

8. Міненко П.О. Стійкі розв'язки обернених задач гравімагнітометрії на щитах // П.О. Міненко, **Р.В. Міненко**, Ю.П. Мечніков: Зб. наук. праць “Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики”/ Всеукр. Асоц. Геоінформатики/ К.- 2015.– С. 86-94.

9. Миненко Р.В. Проблема пошуку змістовних розв'язків обернених лінійних задач магнітометрії комплексуванням інтерпретаційних моделей / **Міненко Р.**, Міненко П., Мечніков Ю. // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія.- 2015.- №2(69).- С. 87-95.

Статті у наукових фахових виданнях України,

які входять до міжнародних наукометричних баз даних:

10. О возможности применения дробного дифференцирования в гравиметрии и магнитометрии // Миненко П.А., Миненко В.П., **Миненко Р.В.** / Научный вестник НГУ. – 2012. - №6. - С.5-9.

Статті в іноземних виданнях:

11. Исследование кристаллического фундамента линейно-нелинейными методами магнитометрии и гравиметрии / П. А. Миненко, **Р. В. Миненко** // ФГУ НПП «Геологоразведка» / «Российский геофизический журнал». – Санкт-Петербург, 2007. – вып. 45-46, с. 60-64.

12. Обратная задача гравиметрии с использованием производных поля и их конечно-разностных аналогов / П.А. Миненко, **Р.В. Миненко** // Вестник Пермского университета. Геоло-гия. – Пермь, 2012. – Вып. 4. – С. 56–62.

Статті в інших виданнях:

13. Исследование глубинного строения южной части Криворожского синклиория методами гравиметрии / П. А. Миненко, **Р. В. Миненко**, Ю. П. Мечников // “Науковий вісник НГУ”. – Дн-ськ. – 2009. - №2. - С. 60-64.

14. Итерационные методы совместного решения обратных задач гравиметрии и магнитометрии / **Роман Вадимович Миненко** // “Науковий вісник НГУ”. – Дн-ськ. – 2010. - №3. - С. 64-67.

Тези наукових доповідей:

1. Миненко П. А. Обратная задача гравиметрии в классе интерпретационных моделей / П. А. Миненко, **Р. В. Миненко** // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: материалы XXXVI сессии Международного семинара (г. Казань, 26 – 31 января 2009 г.) / Казань: Изд-во Казанского гос. ун-та, 2009. – С. 226 –229.

2. Миненко П.А. Фильтрационные экстремальные итерационные методы решения обратных задач гравиметрии и магнитометрии / П.А. Миненко, **Р.В. Миненко** – Праці міжнародн. наук.-практ. конф. «Обробка сигналів і негаусівських процесів». До 70-річчя від дня народження професора Кунченка Ю. П. 25-29 травня 2009 р., м. Черкаси, Україна/ ЧГТУ.– Черкасы, 2009.- С.144-146.

3. Избирательно-экстремальные алгоритмы совместного решения обратной задачи магнитометрии // П.А. Миненко, **Р.В. Миненко**, Ю.П. Мечников: Доклады и презентации 38-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского, Екатеринбург, 24–28 января 2011 г. М.: ИФЗ РАН. 2011. С. 159-162.

4. Статистичні критерії оптимізації стійких розв'язків обернених задач гравіметрії // П.О. Міненко, **Р.В. Міненко** // Матеріали X Міжнародної наукової конференції «Моніторинг геологічних процесів та екологічного стану середовища», м. Київ, 17-20 жовтня 2012 р. – К., 2012. – С. 154-155.

5. Міненко П.О. Про перші критерії умовної оптимізації розв'язків обернених задач гравімагнітометрії // П.О. Міненко, **Р.В. Міненко** // Матеріали X Міжнародної наукової конференції «Моніторинг геологічних процесів та екологічного стану середовища», м. Київ, 17-20 жовтня 2012 р. – К., 2012. – С. 81-82.

6. Решение обратных задач гравиметрии и магнитометрии с новыми итерационными формулами в аналогах фильтров Винера-Калмана // П.А. Миненко, **Р. В. Миненко**: Доклады и презентации 41-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского, Екатеринбург, 27–31 января 2014 г. М.: ИФЗ РАН. 2013. С. 159-162.

7. О методах условной оптимизации в обратных задачах магнитометрии // П.А. Миненко, **Р.В. Миненко**: Доклады и презентации 41-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского, Екатеринбург, 27–31 января 2014 г. М.: ИФЗ РАН. 2013. С. 162-164.

8. Обратная задача гравиметрии с переменной плотностью в сеточном блоке // П.А. Миненко, **Р. В. Миненко**: Доклады и презентации 42-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского, Пермь, 26–30 января 2015 г. М.: ИФЗ РАН. 2014. С. 162-164.

Анотація

Міненко Р.В. Оптимізаційні методи стійких розв'язків обернених лінійних задач гравіметрії та магнітометрії з уточнюючими ітераційними поправками (на прикладі руднопошукових задач). – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук зі спеціальності 04.00.05 - геологічна інформатика. – Київський Національний університет імені Тараса Шевченка, МОН України, Київ, 2016.

Дисертація містить раніше не захищені наукові положення, які в сукупності розв'язують важливу наукову задачу створення оптимізаційних ітераційних методів стійких розв'язків обернених лінійних задач (ОЛЗ) гравіметрії й магнітометрії з ітераційними формулами й критеріями оптимізації розв'язків, що містять комплекси уточнюючих ітераційних поправок та глибинні функціональні поправочні коефіцієнти, і тільки ті з них, які дають стійкі й змістовні розв'язки обернених задач при використанні, у якості початкових умов ітераційних процесів, відкоригованих, способами автора, результатів попередніх рішень ОЛЗ іншими ітераційними методами. Уперше в рішеннях ОЛЗ для теоретичних і реальних полів, із використанням багат шарових моделей, установлені причини й закономірності еквівалентного перерозподілу речовини, шляхом виносу її вгору та в бокові області або аналогічне пірнання речовини вниз на нескінченність і в сторони. Розроблено спосіб усунення цього впливу на рішення ОЛЗ і досягнення майже реальних значень щільності та інтенсивності намагнічування для теоретичних полів і фізично змістовних їхніх значень для вимірюваних полів.

Ключові слова: екстремальна обернена лінійна задача, лінійно апроксимована нелінійна задача, гравіметрія, магнітометрія, стійкий розв'язок, оптимізаційний ітераційний метод, критерій оптимізації, уточнююча ітераційна поправка, функціональний поправочний коефіцієнт.

Аннотация

Миненко Р. В. Оптимизационные методы устойчивых решений обратных линейных задач гравиметрии и магнитометрии с уточняющими итерационными поправками (на примере руднопоисковых задач). – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 04.00.05 – геологическая информатика. Киевский Национальный университет имени Тараса Шевченка, МОН Украины, Киев, 2016.

Диссертация содержит ранее не защищенные научные положения, которые в совокупности решают важную научную задачу создания оптимизационных итерационных методов (ОИМ) устойчивых решений (УР) обратных линейных задач (ОЛЗ) гравиметрии и магнитометрии с итерационными формулами (ИФ) и критериями оптимизации решений (КОР), которые содержат уточняющие итерационные поправки (УИП), и только те из них, которые дают устойчивые и содержательные решения (СР) обратных задач (ОЗ). Для их реализации впервые разработаны глубинные функциональные поправочные коэффициенты (ФПК) к основной итерационной поправке (ИП) и комплекс УИП для ИФ и КОР, и на их основе созданы ОИМ получения устойчивых и СР ОЛЗ, которые, в качестве начальных условий итерационных процессов (НУИП), используют

откорректированные способами автора результаты предыдущих решений ОЛЗ другими итерационными методами (ИМ). Установлено, что при решении ОЛЗ по реально измеренному полю (РИП) переход на эквивалентное перераспределение вещества (ЭПВ) происходит только из-за больших погрешностей поля (ПП), особенно распределенных группами (профильными и площадными). На теоретических моделях (ТМ) с точными теоретическими полями (ТТП) автор получил точное решение с нулевой ошибкой подбора. Для РИП с помощью ОИМ с УИП без основной ИП в ИФ на 1-м этапе решения ОЛЗ удается усреднить и распределить большие ПП по площади карты поля и выйти на начало реального, СР ОЗ. Но эти методы очень долго сходятся. Поэтому на 2-м этапе решения ОЛЗ, после подавления значительной части ПП, переходят к методам с основной поправкой вместе с УИП в одной ИФ и в одном КОР. Но все выше перечисленные ИМ дают нежелательные эффекты «всплывания или утопления вещества», т.е. ЭПВ. Поэтому автором разработаны специальные процедуры и методики выравнивания решений.

Впервые в решениях ОЛЗГ для ТТП и РИП, с использованием многослойных моделей, установлены причины и закономерности ЭПВ, путем выноса его вверх и в боковые области, для моделей с блоками конечных по вертикали размеров (КВП), или аналогичное погружение вещества вниз на бесконечность, для моделей с полубесконечными вертикальными призмами (ПБВП). Устранение этих эффектов выполнено изменениями в теории ИМ, способами концентрации невязок поля путем умножения их в ИП 1-порядка на нормализующие множители (НМ) или весовые коэффициенты (ВК). Замечено, что при использовании в КОР только одной ИП 2-го или 3-го порядка в самом решении увеличивается интервал глубин, на котором физический параметр (ФР) получает в решении реальные или максимальные значения. При использовании нескольких ИП разного порядка в ИФ и КОР область максимальных значений ФР в решении ОЛЗ распространяется по глубине почти на всю область аномального тела (АТ). Разработан способ устранения влияния ЭПВ на решение ОЛЗ с достижением почти реальных значений для ТТП и физически содержательных (ФС) значений аномальной плотности (АП) и интенсивности намагничивания (ИН) горных пород (ГП) для РИП. Создана методика выявления АТ с ростом и спадом АП(ИН) в них по вертикали и соответствующего СР ОЛЗ. Созданы новые ИМ безусловной оптимизации (БО) решений обратных задач (ОЗ) путем совместного использования на одной итерации магнитного и гравитационного полей для одной и двух сеточно-блоковых интерпретационных моделей с общими и разными границами раздела АП и ИН. Разработаны двойственные методы: условной оптимизации (УО) решения ОЛЗ по минимуму суммы квадратов (МСК) невязок поля (НП) при МСК ИП к АП(ИН) и второй метод по МСК ИП к АП(ИН) при МСК НП. Причем эти ИМ созданы как с основными ИП, так и с УИП. Также созданы методы УО по МСК ИП или НП при дополнительном условии равенства нулю суммы произведений НП на полезный сигнал. Доказана сходимость ИМ при наличии двух ИП в КОР. Выполнены и сравнены решения ОЛЗ методом простой итерации (ПИ) для одной модели по двум КОР: по МСК НП и по МСК ИП к АП(ИН). Для ТТП получили почти одинаковые решения, а для РИП расхождения в решениях более заметные, хотя качественно картины распределения физического параметра по площади карты или разреза мало

отличаются. Получили дальнейшее развитие, за счет УИП, ОИМ решения ОЛЗ для гибридных аналогов фильтров Винера-Калмана, результаты которых совпадают между собой и с результатами других методов. Выполнены решения ОЗ разными методами автора в Украине на нескольких участках Большого Кривбасса с целью геофизического обеспечения работ по геологическому прогнозному картированию М 1:50 000 площадей, перспективных на рудные полезные ископаемые, а также выполнены решения ОЛЗ устойчивыми методами с использованием уточняющих итерационных поправок по детальным съемкам на участках Родионовском, Николаевском, Гуровском, Христофоровском, Ново-Владимировском, Авдотьевском в Западном Кривбассе, на площадях Александровского, Южно-Криворожского участков и Южного замыкания Криворожско синклинория, Петровского и Артемовского железорудных месторождений Северного Кривбасса. Полученные вертикальные разрезы и карты распределения плотности и магнитных свойств в геологических массивах позволили более целенаправленно вести геологические исследования и найти ряд рудных проявлений.

Ключевые слова: экстремальная обратная линейная задача, линейаризованная нелинейная задача, гравиметрия, магнитометрия, устойчивое решение, фильтрационный итерационный метод, критерий оптимизации, уточняющая итерационная поправка, функциональный поправочный коэффициент.

Abstract

Minenko R.V. Optimization Methods stable solutions of inverse linear problems gravimetry and magnetometry with iterative clarifying amendments (for example of problems in search of ores). – The manuscript.

The thesis for a candidate degree in physics and mathematics, specialty 04.00.05 – geological science. – Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ministry of Education of Ukraine, Kyiv, 2016.

The dissertation contains previously by scientific positions that collectively solve important scientific task of creating sustainable optimization of iterative methods of solutions of inverse linear problems (ILP) gravimetry and magnetometry with iterative formulas and criteria optimization solutions that contain complex iterative clarifying amendments and functional correction factors, and only those that provide meaningful and sustainable solutions of inverse problems when used as initial conditions corrected ways iterative process results author previous decisions of inverse linear problems other iterative methods. For the first time in the decisions of inverse linear problems for theoretical and real fields using multilayer models established causes and patterns of redistribution equivalent substance by removal of up side and a diving area or similar substances down to infinity and sideways. A method of eliminating this influence from solutions of inverse linear problems and achieve nearly real values of density and intensity of magnetization for theoretical fields and geologically meaningful values for their real gravitational and magnetic fields measured.

Keywords: extreme inverse linear problems, linear approximated nonlinear problem, gravimetry, magnetometry, stable solution, iterative optimization method optimization criterion, specifying iterative correction, functional correction factor.