

Відгук

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Верпаховської Олександри Олегівни

«Формування глибинного зображення середовища з застосуванням кінцево-різницевої міграції за даними регіональної сейсморозвідки»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук
за спеціальністю 04.00.22 – Геофізика

Дисертаційна робота Верпаховської О.О. присвячена розробці методики формування глибинного зображення середовища із застосуванням кінцево-різницевої міграції поля рефрагованих хвиль за даними регіональної сейсморозвідки ГСЗ, для яких характерна реєстрація хвильового поля на значних відстанях від джерела коливань.

Зміст дисертації відповідає її назві і містить перелік умовних позначень, вступ, шість розділів, висновки і список використаних джерел, що включає 269 найменувань. Повний обсяг дисертаційної роботи складає 322 сторінки тексту, проілюстрованого 117 рисунками і 1 таблицею.

Дисертація є самостійним науковим дослідженням, що відображено в публікаціях автора, загальною кількістю 23 статті, з яких 6 опубліковано в зарубіжних журналах. Крім того, наукові результати підтвержені апробацією як в Україні, так і за її межами (17 тез доповідей на міжнародних конференціях).

Актуальність роботи.

Дисертаційна робота Верпаховської Олександри Олегівни відноситься до актуальних наукових напрямків геофізичних методів розвідки і пошуків покладів корисних копалин, зокрема родовищ вуглеводнів, розширення можливостей обробки даних сейсморозвідки для отримання більш достовірної інформації під час вивчення будови земних надр. В своїй роботі автор пропонує методику формування глибинного зображення середовища за даними регіональної сейсморозвідки із застосуванням кінцево-різницевої міграції поля рефрагованих хвиль,

що дозволяє відобразити глибинну будову геологічного середовища у динамічних характеристиках спостереженого хвильового поля. Як наслідок, це дає змогу підвищити інформативність обробки та інтерпретації сейсмічних даних.

В світовій практиці для формування зображення середовища за сейсмічними даними широко застосовується міграція поля відбитих хвиль. Однак, у регіональній сейсморозвідці, коли відстань між джерелом і приймачами досягає кількох сотень кілометрів, відбиті хвилі не можуть бути використані для міграції, оскільки їх реєстрація ускладнена, а іноді і неможлива. Якщо враховувати, що сьогодні основним результатом обробки даних регіональної сейсморозвідки (ГСЗ) залишається швидкісна модель середовища, то розробка нових підходів для формування глибинного зображення середовища в динамічних характеристиках спостереженого хвильового поля, є безумовно актуальною задачею.

Перший розділ містить огляд літературних джерел, який зроблено автором з метою підтвердження актуальності і новизни обраного напрямку наукових досліджень.

Для отримання інформації про розподіл швидкостей сейсмічних хвиль у середовищі в останні десятиріччя застосовуються технології трасування променів або сейсмічна томографія. Таким чином, запропонована в даній роботі методика визначення двошарової швидкісної моделі середовища з використанням кінематичної міграції поля рефрагованих хвиль є новою та цілком актуальною.

Аналіз сучасного стану розвитку методів кінематичної та динамічної обробки поля рефрагованих хвиль дозволив визначити, що за обраною темою досліджень можна прослідкувати проблему недостатнього розвитку методів побудови сейсмічних зображень геологічного середовища в дальній зоні джерела за даними ГСЗ. Автором доведено, що всі представлені в наукових публікаціях методи міграції із залученням поля рефрагованих хвиль базуються на головних хвилях, що не враховує їх проникнення в заломлюючу товщу. Це спрощує теоретичний базис, але призводить до втрати детальності, особливо при вивченні складнобудованих середовищ.

У **другому** розділі автором наведено основні теоретичні засади обраного напрямку досліджень. Зокрема розглянуто кінематичні і динамічні параметри, що характеризують спостережене хвильове поле і використовуються під час обробки сейсмічних даних. Показано що динамічні характеристики поля, зокрема амплітуди відбитих і рефрагованих хвиль суттєво залежать від швидкісної диференціації середовища, а якість спостереженого сейсмічного хвильового поля безпосередньо залежить від системи спостережень, рельєфу і будови геологічного середовища. Детально розглянуто виводи рівнянь для кінцево-різницевої міграції поля рефрагованих хвиль, а також моделювання хвильового поля.

У **третьому** розділі автором розглядається важливе питання обробки даних сейсмічних спостережень із застосуванням міграції поля рефрагованих хвиль, а саме визначення корисного інтервалу хвильового поля, який може бути використаний при формуванні зображення контрастної за швидкістю границі у геологічному середовищі. Для цього автором запропоновано спеціальні підходи, що дозволяють визначати корисний інтервал спостережень, а саме: приблизний початок інтервалу за координатою точки входу хвилі в нижню товщу; використовувати редукцію зі швидкістю, яка притаманна досліджуваній заломлюючій товщі та застосовувати кінцево-різницеve моделювання хвильового поля у віддаленій зоні для вибору оптимальних параметрів міграції. Для моделювання хвильового поля у віддаленій зоні джерела автором запропоновано і розроблено два оригінальні підходи: з урахуванням редукції і з застосуванням різницевої сітки, шаблон якої рухається.

Четвертий розділ присвячений дослідженню використання кінцево-різницевої кінематичної міграції поля рефрагованих хвиль для вирішення двох задач: визначення статичних поправок за даними малоглибинної сейсморозвідки та отримання апріорної інформації про двошарову швидкісну модель середовища для подальшого виконання динамічної міграції поля рефрагованих хвиль за даними регіональної сейсморозвідки. Для застосування кінематичної

міграції поля рефрагованих хвиль при обробці даних ГСЗ розроблено новий алгоритм, який враховує всю специфіку таких даних.

Розроблене автором програмне забезпечення на базі використання сучасних бібліотек програм дає змогу застосовувати кінематичну міграцію для обробки як даних малоглибинної сейсмозвідки, так і даних, отриманих методом ГСЗ. Всі авторські розробки випробувано на ряді модельних прикладів і реальних даних регіональної сейсмозвідки, результати яких підтверджують висновки автора про коректність і ефективність застосування кінематичної міграції поля рефрагованих хвиль при визначенні швидкісної моделі двошарового середовища. Використання розрахованої швидкісної моделі для динамічної міграції поля рефрагованих хвиль, яке продемонстровано на модельних та реальних даних, дозволяє отримати більш детальне зображення досліджуваної границі заломлення.

В п'ятому розділі автор розглядає теоретичні і методичні питання формування глибинного розрізу району досліджень за полем рефрагованих хвиль. Результати виконаних досліджень показали, що для вивчення складно-побудованих середовищ необхідно використовувати методи, що гарантують коректний результат обробки. Розроблений автором метод динамічної міграції поля рефрагованих хвиль повністю відповідає цим вимогам. Автором запропоновано також нову оригінальну методику обробки даних регіональної сейсмозвідки, яка базується на кінематичній і динамічній міграції поля рефрагованих хвиль. При цьому, алгоритм виконання кінцево-різницевої міграції поля рефрагованих хвиль передбачає наступне: визначення апріорної швидкісної моделі із застосуванням кінематичної міграції поля рефрагованих хвиль; виконання динамічної міграції поля рефрагованих хвиль для формування глибинного зображення досліджуваної границі; перевірку коректності отриманого результату міграції, тобто зіставлення сейсмічних зображень за зустрічними пунктами збудження; формування глибинного зображення контрастної за швидкістю границі з побудовою її окремих складних елементів;

формування зображення кожної контрастної границі розділу; формування зображення верхньої частини розрізу за полем рефрагованих хвиль, а нижньої – за полем відбитих хвиль; моделювання хвильового поля з використанням швидкісної моделі двошарового середовища тощо. Якщо враховувати, що подібні методики формування глибинного зображення середовища за полем рефрагованих хвиль в науковій літературі не розглядалися, що підтверджено автором в ґрунтовному огляді літературних джерел (розділ 1), то новизна і актуальність даної роботи не викликає сумнівів.

Шостий розділ присвячено розробці теоретичного базису, алгоритму і програмній реалізації тривимірної кінцево-різницевої міграції поля рефрагованих хвиль, а також моделюванню тривимірного хвильового поля у віддаленій зоні джерела. В даному випадку моделювання особливо важливе, оскільки практичних даних тривимірної регіональної сейсмозвідки для випробовування не було в наявності.

Наукове та практичне значення:

Автором створено алгоритми та пакет програм кінематичної міграції поля рефрагованих хвиль для обробки даних як малоглибинної, так і регіональної сейсмозвідки (ГСЗ). Доведено коректність та ефективність її застосування на модельних та реальних даних сейсмозвідки при вивченні складнопобудованих середовищ.

Розроблене автором нове програмне забезпечення впроваджено у виробництво.

Вперше запропоновано і розроблено методику сумісного застосування кінематичної і динамічної міграції поля рефрагованих хвиль, яка забезпечує формування глибинного зображення середовища без залучення допоміжних методів і процедур визначення його швидкісної моделі.

На модельних та реальних даних, спостережених в регіонах з глибинною будовою різного ступеню складності доведено, що застосування розробленої

автором методики дозволяє отримати більш детальний глибинний розріз середовища.

Вдосконалено теоретичний базис, алгоритми та програмну реалізацію динамічної міграції поля рефрагованих хвиль для формування зображення складнобудованого середовища з урахуванням особливостей рельєфу району досліджень.

Вперше сформовано глибинне зображення середовища за полем рефрагованих хвиль до глибини 70 км, яке дозволило уточнити його геологічну будову.

Математично доведено коректність та стійкість тривимірних продовжень часового та хвильового полів кінцево-різницеvim методом, на базі яких розроблено тривимірні варіанти міграції поля рефрагованих хвиль і моделювання хвильового поля у віддаленій зоні джерела.

Доведено ефективність формування об'ємного сейсмічного зображення середовища з застосуванням міграції поля рефрагованих хвиль на модельних прикладах.

Новизна роботи. Основною перевагою запропонованого автором підходу до задачі визначення параметрів для формування апріорної двошарової швидкісної моделі геологічного середовища є використання кінематичної міграції. Сучасні методи, які використовуються на виробництві, базуються на спрощених формулах розрахунку і не в повній мірі враховують криволінійність границь та латеральну і вертикальну зміну швидкостей в середовищі. В запропонованому підході це не викликає проблем, а результат розрахунків є більш точним і стійким.

Оскільки в запропонованій методиці динамічної міграції передбачається, що рефраговані хвилі проникають в товщу із більшою швидкістю, з'являється можливість відобразити не лише досліджувану границю, а також і деякий об'єм середовища під нею. Подібного результату кінематичними методами, зокрема променевим моделюванням отримати неможливо.

Вперше запропоновано і розроблено методику формування зображення середовища із застосуванням кінематичної та динамічної міграції поля рефрагованих хвиль для обробки даних регіональної сейсмозвідки. Даний підхід гарантує самодостатність методики, оскільки необхідна апріорна швидкісна модель середовища розраховується без залучення стандартних методів променевого моделювання, а завдяки застосуванню кінематичної міграції поля рефрагованих хвиль. Розроблену методику випробувано на модельних та практичних прикладах і доведено її ефективність при складній будові двошарового середовища.

Запропоновано і розроблено оригінальні підходи до моделювання хвильового поля у віддаленій зоні джерела. Вперше реалізовано продовження хвильового поля на сітці, шаблон якої рухається в напрямку поширення хвиль, що дозволяє скоротити час обчислень. За рахунок застосування розроблених методів моделювання хвильового поля у двовимірному і тривимірному варіантах, доведена коректність і ефективність формування глибинного зображення геологічного середовища.

Обґрунтованість наукових положень та достовірність отриманих результатів забезпечується :

- теоретичними розробками способів продовжень хвильових полів, включаючи кінематичну та динамічну міграції даних, зареєстрованих у віддаленій зоні джерела;

- застосуванням кінцево-різницевого методу розв'язання диференційного рівняння ейконалу та скалярного хвильового рівняння з їх апроксимацією на спеціального виду сітках, які відповідають реальному поширенню сейсмічних хвиль у середовищі;

- перевіркою коректності та рівня апроксимації і стійкості розв'язку диференційних рівнянь;

- алгоритмічно-програмною авторською реалізацією кінематичної і динамічної міграцій поля рефрагованих хвиль для даних регіональної сейсмозвідки;

- розробкою методичних підходів до визначення корисного інтервалу хвильового поля для формування зображення контрастних за швидкістю границь розділу у середовищі, зображення границь зі складною будовою, зображення середовища за умов присутності декількох границь розділу та недостатності системи спостережень;

- практичним підтвердженням ефективності застосування представлених розробок на модельних прикладах та реальних даних сейсмозвідки;

- розробкою методики формування зображення середовища та моделювання хвильового поля в тривимірному варіанті для даних, спостережених із значними відстанями від джерела.

Дисертаційна робота викладена технічно грамотною мовою. Зміст автореферату повністю відповідає змісту дисертації.

До недоліків роботи можна віднести наступне:

1. В першому розділі автор наводить модельний приклад, який показує, що застосування стандартної міграції після процедури підсумовування за методом СГТ до даних, які спостережені на значних відстанях від джерела призводить до викривлень результатів обробки. В той же час відсутні ілюстрації з результатами міграції. Автор аналізує лише суму СГТ. Бажано б було навести і результати міграції.
2. В роботі дисертанта зауважено (розділ 2), що розглядається ізотропне середовище (стр.72), в той же час не розглянуто питання можливості врахування анізотропії в запропонованому методі міграції.
3. На рис.3.10, де зображено проекцію сітки з шаблоном, що рухається, не визначено розмірність шкал.
4. В роботі представлена розроблена автором кінематична міграція для обробки даних малоглибинної сейсмозвідки, однак не показано можливість застосування до таких даних динамічної міграції з формуванням зображення границі ЗМШ в хвильовому поданні.

Незважаючи на вказані недоліки розглянута дисертація є завершеним самостійним науковим дослідженням, що повністю відповідає вимогам спеціальності 04.00.22 - геофізика, вирізняється актуальністю, новизною і значимістю отриманих результатів, має велике теоретичне і практичне значення в обробці та інтерпретації даних сейсмозв'язки. Наявність зауважень і недоліків не знижує значення роботи в цілому. Дисертація відповідає вимогам п.9, п.10 та п.12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 року, а її автор, Верпаховська Олександра Олегівна, заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора фізико-математичних наук.

Офіційний опонент

заступник генерального директора з наукової роботи

ТОВ "Тутковський інтегровані рішення",

доктор геологічних наук,

Лісний Георгій Дмитрович



Підпис Г.Д.Лісного підтверджую

начальник відділу кадрів

Поліщук Т.Ю.

