

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Шунделя Олексія Івановича

«Розробка математичної моделі шаруватого неоднорідного середовища
як складової частини банку океанографічних даних»,

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук
за спеціальністю 04.00.22 «Геофізика»

1. Загальна характеристика роботи

Робота складається з анотації, переліку умовних позначень, вступу, 4 розділів, висновків, графічних додатків (на 44 сторінках), списку публікацій здобувача. Загальний об'єм роботи – 221 сторінка, в т.ч. 44 рисунки, 4 таблиці та посилання на 175 першоджерел (розміщених на 18 сторінках). В основі дисертації – опубліковані автором 1 монографія (у співавторстві), 7 статей у наукових фахових виданнях (у т.ч. 1 стаття входить до міжнародної науково-метричної бази публікацій Index Copernicus International і 1 стаття входить до міжнародної науково-метричної бази публікацій Web of Science) та 10 матеріалів і тез доповідей на науково-практичних конференціях різного рівня (вітчизняних і закордонних).

Дисертаційна робота присвячена актуальним питанням відтворення фізико-геологічної моделі донних відкладів морських і річкових басейнів на основі гідрогеофізичних даних. Головний акцент зроблений на розробці математичних моделей об'єкту дослідження та побудові на їх основі тривимірних моделей суцільного середовища (як за даними чисельного моделювання, так і за натурними даними).

Дисертація виконана здобувачем на основі аналізу й узагальнення теоретичних засад в області математичного моделювання суцільного середовища. Окрім того, в роботі наведені результати чисельного моделювання і результати обробки та інтерпретації результатів натурних спостережень.

Автор брав безпосередню участь в дослідженнях, що покладені в основу дисертаційної роботи і були здійснені протягом 2004-2014 років в рамках науково-дослідних тематик ДУ «Гідрофізичний центр НАН України».

2. Актуальність роботи

Загальна актуальність роботи визначається, в першу чергу тим, що вона має чітко виражену науково-практичну спрямованість. Конкретні прикладні задачі відновлення структурно-геологічної будови дна як суцільного в'язко-пружного середовища розв'язуються з науково обгрунтованих позицій. Сучасні дослідження в області відновлення 3Д-будови суцільного геологічного середовища являють собою найбільш перспективний напрям розвитку теоретичних вишукувань в області математичної фізики і геофізики в цілому. Алгоритмічні реалізації останніх досягнень у вигляді потужних програмно-аналітичних комплексів від провідних розробників програмного забезпечення засвідчують безперечну актуальність даного напрямку.

3. Новизна досліджень

Наукова новизна проведених досліджень сформульована в чотирьох пунктах (с. 22). Не заперечуючи наведені наукові досягнення по-суті, варто проте зауважити, що формулювання пунктів наукової новизни мають бути більш акцентованими і давати повне уявлення про ступінь новизи отриманих результатів (особливо, коли мова йде про розвиток вже відомого наукового знання). Корисно пригадати, що раніше для підкреслення характеру новизни рекомендувалося вживати визначення «Вперше одержано...», «Удосконалено...», «Набуло подальшого розвитку»... І це була гарна практика, це допомогало самому дисертанту краще локалізувати свій власний науковий доробок на фоні попередників. Сьогодні, відповідно до чинних Вимог до оформлення дисертації (Наказ МОН №40 від 12.01.2017) формулювання наукової новизни чітко не регламентуються, проте зазначається, що в якості наукової новизни отриманих результатів «... аргументовано, коротко та чітко представляються основні наукові положення, які виносяться на захист, із зазначенням відмінності одержаних результатів від відомих раніше». То ж, зважаючи на чинне формулювання, дисертанту варто було зазначити відмінність його наукових результатів від відомих раніше.

4. Основні наукові результати

Основні наукові результати отримані автором як особисто, так і в співпраці з колегами. В публікаціях із співавторами чітко виділено особистий внесок дисертанта, який є достатньо вагогим.

Розглянемо зміст роботи більш детально з приділенням уваги критичним зауваженням і недолікам.

У Вступі обґрунтовується актуальність теми, формулюється мета і задачі дослідження, наведена наукова новизна і практична значимість, а також результати апробації і реалізації основних положень роботи. Надаючи загальну характеристику геоакустичної моделі, автор констатує, що «швидкість звуку у відкладах представляється як функція координат, глибини і місця». Рецензенту не зовсім зрозумілий зміст такого розділення понять – хіба, глибина і місце не визначаються однозначно координатами? (і що, взагалі, розуміється під «місцем»?).

Перелік умовних позначень містить (має містити) позначення і пояснення найбільш уживаних математичних символів, скорочень, абревіатур. Введення Переліку умовних позначень є гарною практикою, особливо в роботах фізико-математичного змісту. Наявність такого переліку часто значно полегшує вивчення викладеного матеріалу. Але надмірне захоплення у формуванні Переліку умовних позначень може призвести до протилежного ефекту. Відповідно до «Вимог до оформлення дисертації» (затверджених Наказом МОН України № 40 від 12.01.2017) скорочення, символи, позначення, які повторюються не більше двох разів, до переліку не вносяться. Але в наведеному переліку нерідко зустрічаються виключення, зокрема: «ШПФ» (швидке перетворення Фур'є) наводиться лише двічі – один раз в Переліку умовних позначень, а другий раз в основному тексті (на с. 128). Те саме стосується деяких інших, наприклад: «СУБД» (система управління базами даних). Зустрічаються, навіть, випадки, коли скорочення присутнє лише в Переліку умовних позначень («ШПХ – швидке перетворення Ханкеля»), але не в тексті дисертації.

Також серед помилок формування Переліку умовних позначень варто відмітити використання позначень, які по тексту мають різний зміст. Зокрема, умовні позначення α і β в

Переліку тлумачаться як «*коефіцієнт поглинання*» і «*коефіцієнт загасання*» відповідно, а по тексту дисертації окрім, власне, зазначених тлумачень, символами α і β позначені також такі геометричні характеристики як «*кут приходу відбитого сигналу*» і «*кут відхилення інтерферометра від вертикалі*» (с. 147). Ще аналогічні приклади:

- а) умовне позначення ρ в Переліку і практично усюди по тексту трактується як «*щільність середовища*», а на с. 103 – як координата циліндричної системи координат, що характеризує відстань від точки до вісі z ;
- б) символ W записаний як «*амплітуда хвилі, що пройшла*», проте в тексті символом W позначається також коефіцієнт прозорості границі (коефіцієнт пропускання або коефіцієнт проходження, с. 122), а також це є «*щільність потенційної енергії пружної деформації*» (с. 43), а також «*просторова область ділянок дна полігону, що утворюють смугу бокового огляду в певний момент часу*» (с. 107);
- в) символ V записаний як «*амплітуда відбитої хвилі*» (що є нетиповим для наукової літератури), проте в тексті цим символом неодноразово позначається об'єм середовища, а на с. 122 під символом V розуміється наступне: «*коефіцієнт відбиття хвилі є відношенням комплексних амплітуд відбитої і падаючої хвилі та позначається V* ».

Такий сумбур в умовних позначеннях (і, відповідно, в тексті дисертації) свідчить про творче опрацювання автором великої кількості різних літературних джерел, в котрих застосовані різні позначення однакових за змістом математичних та фізичних понять. Сподіваюсь, здобувач у наступних своїх публікаціях буде ретельніше підходити до оформлення й опису математичних текстів.

Розділ 1 присвячено загальному огляду та аналізу сучасних підходів до проблематики математичного моделювання геологічного середовища. Багато уваги приділено моделям Біо та їх модифікаціям. Розглядаються різні типи геологічних середовищ. Представлено елементи теорії Біо для анізотропного пружнопористого флюїдонасиченого середовища в низькочастотному діапазоні. Розглянуто деякі моделі механізмів частотно-залежної дисипації. В цілому, розділ вельми інформативний і цікавий. До недоліків можна віднести лише те, що в подальших власних теоретичних і практичних дослідженнях автор дисертації зовсім не апелює до наведеного тут потужного теоретичного фундаменту.

У Розділі 2 розроблено математичні моделі шаруватих геологічних структур, близьких до реального геосередовища. Запропоновано підхід до побудови та візуалізації складних тривимірних геологічних структур. Розроблені методи дозволяють створювати дискретні, безперервні або змішані структурно-акустичні моделі неоднорідного морського дна, з урахуванням розшарування, флюїдо- та газонасичених донних відкладів, наявності в них порожнин і включень різних форм і властивостей. В якості зауважень до розділу варто зупинитися на кількох моментах.

На рис. 2.6. (с. 77) наведена структурно-геологічна модель – це ізометрична антиклінальна структура, що має близько 1 км у поперечнику, в склепінній частині якої зосереджені вуглеводні, при чому від поверхні морського дна до поверхні нафтонасиченої частини структури – лише 100 м. Видається, що наведена модель має суто теоретичний інтерес. Опоненту не відомі реальні геологічні об'єкти, що хоча б наближено відповідали такій моделі (типові глибини залягання покладів нафти і газу на шельфах – перші кілометри; але, можливо, здобувач наведе інші

відповідні приклади). Окрім того потрібно зауважити, що в цьому рисунку (і в багатьох інших далі по тексту) легенда не підписана. Можна лише здогадуватися, що означають цифри біля кольорової шкали (напевне, щільність у кг/м^3 ? або, можливо, швидкість звуку в м/с ?).

Ще кілька зауважень щодо умовних позначень. У підпункті **2.2.1.1 Дискретна модель шаруватого дна з локалізованими неоднорідностями** на с. 91 символами λ , μ позначені пружні постійні Ламе (як це традиційно прийнято у відповідній літературі з теорії пружності і фізичних властивостей речовин), і одночасно, в тому ж підпункті на с. 94 символом μ позначено середнє значення (як це традиційно прийнято в літературі з теорії ймовірності і математичної статистики). А в підпункті **2.2.2. Принципи побудови структурних моделей III типу** позначення μ вже використовується для визначення «простору ознак, відповідних «первинним» геофізичним полям».

Відсутність єдиної системи умовних позначень суттєво ускладнює аналіз всього викладеного матеріалу і створює враження певної його штучної секційонованості.

На с. 103, як підсумок розгляду теоретичних положень щодо побудови моделей дна, зазначено: «Приклади, що ілюструють побудову дискретних, безперервних і змішаних структурно-акустичних моделей дна I-III типів за допомогою концепцій, викладених в даному розділі, показано на рисунках у Додатку А». Проте, в Додатку А з 11 наведених рисунків лише перший ілюструє результат побудови структурно-акустичної моделі дна III типу, а усі інші 10 моделей – II типу. Візуалізації результатів моделювання дна моделями I типу в додатку А відсутні.

У Розділі 3 описані розроблені автором алгоритми отримання модельного акустичного відгуку, який є суперпозицією всіх акустичних сигналів, відбитих від геологічних границь, що мають різні коефіцієнти відбиття. Наведені результати чисельних експериментів щодо впливу розміру і складу включень, а також частоти випромінюваних імпульсів, на структуру акустичного поля. У рецензента виникли до цього розділу як зауваження технічного характеру, так і певні методологічні питання.

Автор неодноразово використовує термін «безліч» по відношенню до опису моделей, що складаються з дискретних елементів. А з контексту викладення стає зрозуміло, що насправді мова йде про скінчену множину, а не «безліч». Один з подібних прикладів можна бачити на с. 128: «Для простоти розіб'ємо геологічний розріз на безліч паралельних пластів ...», і тут же одразу на відповідній схемі (рис. 3.3) показана скінченна множина із N пластів.

«Якщо генеральну морфологію структури дна задає підкладка (скеляста основа), то спектри верхніх горизонтів можуть бути визначені рекурсивно.» (с. 96). Чи означає це, що якщо такої основи немає, то спектри верхніх горизонтів не можуть бути визначені в рамках дискретної моделі шаруватого дна? І ще більш цікаве питання – а яким чином тоді визначатимуться спектри горизонтів для моделі ритмічної шаруватості дна, коли скеляста основа перешаровується з менш щільними відкладами (наприклад для флішових чи тонкошаруватих трапових формацій)?

У підпунктах **3.3.1 Вплив розмірів неоднорідностей на структуру акустичного поля** і **3.3.2 Вплив частоти випромінюваного імпульсу на структуру акустичного поля** проведені чисельні експерименти для шаруватої моделі дна, що містить лінзоподібне включення. На жаль, автор навів лише фізичні параметри шарів моделі дна (табл. 3.1.), але не навів параметри включення. Разом із тим зазначено, що «порожнина заповнена нафтою». З опису моделі не зовсім зрозуміло, чи це включення і є та сама порожнина? чи заповнена нафтою? На думку рецензента, доцільніше було

б сказати про фізичні параметри включення. При чому як у варіанті насичення його нафтою (тобто коли щільність включення є меншою за щільність вміщуючих включення порід), так і у варіанті додатньої надлишкової щільності включення. У наступному підпункті **3.3.3 Вплив складу неоднорідностей на структуру акустичного поля** дисертант розглянув різні варіанти заповнення змодельованої порожнини (фізичні властивості заповнювачів наведені в табл. 3.2.), але усі ці варіанти імітують локальне розуцільнення в межах включення (вдвічі і більше, що є абсолютно нетиповим для пластів-колекторів). І знову, варіанту з додатньою надлишковою щільністю включення, на жаль, немає. Було б доцільно його розглянути для більш повного розкриття потенціалу запропонованої методики моделювання.

У Розділі 4 наведені результати відновлення рельєфу дна за даними гідрогеоакустичних досліджень, здійснених автором в межах акваторії Чорного моря і русла р. Дніпро. Зауваження до цього розділу наступні.

При викладенні сутності методу визначення донного рельєфу за допомогою фазового ГБО (інтерферометричного гідролокатору бокового огляду (ІГБО), п.4.1.) дисертант не розглянув такі важливі аспекти інтерферометрії як «вилучення регіонального тренду» і «розгортання фази», а це варто було б зробити для повноти і логічної завершеності огляду методу.

Рисунки 4.9.-4.19, де *«представлені приклади побудованих цифрових моделей рельєфу дна окремих акваторій за алгоритмами, які описані у даній дисертаційній роботі та з використання сучасних GIS-систем»*, є дуже різними як за форматом подачі, так і за оформленням. Так, зокрема, рис. 4.9.-4.10., 4.12-4.13 не містять ні легенди, ні масштабу, ні координатної сітки... Тобто широкими можливостями і перевагами геоінформаційних систем при підготовці звітного ілюстративного матеріалу тут знехтовано. Відчувається брак досвіду роботи в ГІС. Також хотілося б зрозуміти, якими саме методами і алгоритмами були отримані наведені результати – де результати за ехолотом, а де – за БПЕ (багатопроменевий ехолот), за фазовим ГБО (інтерферометрія).

У висновках до Розділу 4, на с.166 автор констатує: *«Запропоновано математичний алгоритм, на основі якого пропонується метод, призначений для відновлення рельєфу дна акваторії на основі гідрографічної інформації (глибини водойми в окремих точках з координатами), і виконана його чисельна реалізація»*. Не зовсім зрозуміло, наскільки авторським є запропонований алгоритм, адже по ходу викладення теоретичних засад алгоритму практично усі його ключові моменти супроводжуються посиланнями на першоджерела. Можливо, дисертант надасть коментар з цього приводу.

У Висновках до дисертаційного дослідження в цілому, що представлені на 6 сторінках, багато, власне, не висновків, констатацій зробленого, наприклад: *«Представлено елементи теорії Біо для анізотропного пружнопористого флюїдонасиченого середовища в низькочастотному діапазоні. Розглянуто деякі моделі механізмів частотно-залежної дисипації.»* І таких констатацій дуже багато. Якщо з цього розділу прибрати простий перелік зробленого, залишивши лише критичний аналіз отриманих наукових результатів, то «Висновки» зменшилися б втричі.

Аналіз Додатків.

У додатках А2-А11 на діаграмах відносних частот складова, що відповідає товщі води ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$), виглядає зайвою, оскільки характеризує не модель дна, а лише обраний для

візуалізації об'єм водного середовища над ділянкою дна (який є фактично сталим для усіх наведених моделей).

На всіх ілюстраціях додатків Б, В, Г, де наводяться спектри сигналу від дна з включенням, а також зображення фази сигналу і швидкості зміни фази сигналу від дна з включенням, відсутні підписи вертикальної координатної вісі.

Наприкінці огляду скажемо про наявність у тексті прикрих помилок перекладу і неточностей різного роду: «... афінських ортогональних перетворень координат ...» (с. 42) – напевне, афінних?; «... представляються незахищеними від координат ...» (с. 44) – напевне, незалежними?; «... вивчення керна і оголень ...» (с. 70) – напевне, відслонень?; «... структурні обурення ...» (с. 98) – напевне, структурні збурення?; «... спектральних уявлень ... » (с. 105) – це калька від рос. «спектральных представлений»? І тому подібне.

5. Висновки

В цілому, дисертація Шунделя Олексія Івановича є завершеною науково-дослідною роботою, в якій отримані нові науково обґрунтовані теоретичні та практичні результати, які в сукупності можна оцінювати як суттєве удосконалення сучасних досягнень в області математичного моделювання суцільного геологічного середовища (а саме річкових і морських донних відкладів). Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації.

Усі наукові положення, що винесені на захист (пункти наукової новизни), є новими і достовірними, обґрунтованими результатами науково-методичних і практичних робіт автора.

Основні результати дисертації повністю викладені у наукових фахових виданнях, кількість таких публікацій цілком задовільняє діючі вимоги МОН України. Робота дуже добре апробована і підкріплена результатами практичних досліджень, у виконанні яких автор брав безпосередню участь. Автореферат повністю відображає основні положення дисертації.

Робота оформлена відповідно до чинних Вимог до оформлення дисертації (Наказ МОН №40 від 12.01.2017), написана грамотною літературною мовою, логічно побудована. Отримані результати мають наукову і практичну цінність.

Таким чином аналіз дисертації, автореферату та опублікованих праць дає підстави для висновку про те, що дослідження щодо розробки математичних моделей суцільного геологічного середовища як складової частини банку океанографічних даних є завершеною, самостійно виконаною науковою працею, що має вагомое теоретичне і практичне значення, заслуговує позитивної оцінки, відповідає вимогам пп. 9, 11-13 «Порядку присудження наукових ступенів» (постанова КМУ № 567 від 24.07.2013), «Вимогам до оформлення дисертації» (наказ МОН №40 від 12.01.2017) та іншим нормативним актам МОН України щодо кандидатських дисертацій, а її автор Шундель Олексій Іванович заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 04.00.22 «Геофізика».

Офіційний опонент –

доцент кафедри геоінформатики ННІ «Інститут геології»
Київського національного університету ім. Тараса Шевченка
кандидат фізико-математичних наук, доцент

Тішаєв І. В.

ПІРАМС
ВЧЕННИ
КАРАУЛЬНА Н. В.
28.04.2021р

