

## ГЕОФІЗИКА

УДК 556.834

С. Вижва, д-р геол. наук, А. Тищенко, асп.

## СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПОБУДОВИ ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ НАФТОГАЗОВИХ ПОКЛАДІВ

*Розглядаються сучасні комп'ютерні технології побудови цифрових геолого-геофізичних моделей. Розглянутий приклад побудови геолого-геофізичної моделі з використанням програмного забезпечення Tesselal 2D, ProMAX, FOCUS, Petrel 2005 за сейсмічними та геологічними даними об'єкту з площі північно-західного шельфу Чорного моря.*

*Modern computer technologies of construction of digital geological and geophysical models are examined. The example of construction of geological and geophysical model applying Tesselal of 2D software, PROMAX, FOCUS, Petrel 2005 using seismic and geological data of area on northern-western shelf of the Black sea is considered.*

Одним із найбільш перспективних напрямків досліджень нафтогазоносних об'єктів є побудова їх комплексних геолого-геофізичних моделей з подальшою її корекцією в процесі розвідки та експлуатації. Такий підхід сформований за останні 5 років і розвивається передовими науковими установами, видобувними та сервісними компаніями світу. Зокрема постійно вдосконалюються обчислювальні технології аналізу геолого-геофізичної інформації та методи її візуалізації [1].

Одним із засобів є уніфікація форми подання всього комплексу даних про об'єкт досліджень з підтримкою процесів обробки та інтерпретації геолого-геофізичних і промислових даних в режимі реального часу. Найбільш ефективним виявляється таке виділення певних ресурсів, що зберігає тривимірне 3D (тривимірне) зображення досліджуваних геологічних об'єктів.

Авторами ставилося завдання оцінки ефективності певних програмних продуктів та розробка на їх основі обчислювальної технології побудови комплексних геолого-геофізичних моделей окремих об'єктів, придатної для оперативного використання на всіх стадіях геологорозвідувальних робіт.

Використаний авторами підхід ґрунтується на автоматизації всього процесу перетворення інформації, що починається введенням первинних сейсмічних даних, їх інтерпретації та створенням моделі площі або родовища [11].

Виходячи з наведеної специфіки, аналізу піддавалися програмні засоби, створені російськими та іншими зарубіжними розробниками. Вивчалися програмні засоби інтегрованого аналізу даних сейсмозвідки, методів ГДС (геофізичне дослідження свердловин) та інших методів розв'язання нафтогазових геологічних задач, визначалася перспективність застосування окремих програмних продуктів та технологій з метою оптимізації побудови тривимірної комплексної геолого-геофізичної постійно діючої моделі нафтогазоносних об'єктів на прикладі окремих об'єктів північно-західного шельфу Чорного моря.

За основні критерії оцінки ефективності програмно-технічних комплексів обробки та інтерпретації геолого-геофізичних даних для створення комплексної геологічної моделі вибиралися наступні:

1. Повнота функціональних можливостей програмних пакетів для:
  - оперування даними (наповнення, модифікація, ступінь інтегрованості, зручність використання різних геолого-геофізичних, петрофізичних, географічних, промислових даних та БД проектів);
  - обробки 2D та 3D сейсмічних даних;
  - кількісної комплексної обробки та інтерпретації усієї наявної геолого-промислової та геолого-геофізичної інформації;
  - моделювання нафтогазоносних об'єктів зі створенням тривимірної комплексної багатофазової та багатоконтинентної моделі нафтогазового об'єкту з отриманням постійно діючої моделі розробки об'єкту (родовища).
2. Сучасність, зручність, функціональність системної платформи, що використовується для пакетів прикладних програм.
3. Відповідність апаратної бази технологічним умовам (швидкість обчислення, оперативність тощо).

Для створення геолого-геофізичної моделі використовувалися первинні (часові 2D сейсмограми та дані ГДС) матеріали. Обробка, інтерпретація, побудова моделі проводилася з використанням обчислювального комплексу компанії «Sun Microsystems» на серверах Sun Sunfire v880), та програмного забезпечення (Tesselal, ProMAX, FOCUS) компанії НАК «Нафтогаз України» ДП «Науканафтогаз». Також використовувалася система Petrel 2005, ліцензії на використання якого передані фірмою Шлюсберге Київському національному університету.

**Системи обробки сейсмічної інформації.** Розвиток програмного забезпечення для обробки геолого-геофізичних даних йшло шляхом створення окремих програм (1960-1970 рр.), систем програм (1970-1980 рр.) і автоматизованих систем (кінець 70-х - початок 80-х років минулого століття) [10].

Будь-яка високоорганізована автоматизована система обробки даних (АСОД) складається з бази даних, системи керування базою даних і бібліотеки обробних програм або пакета прикладних програм. Ці складові частини застосовують також до автоматизованих систем інтерпретації й комплексного аналізу геоданих. Пакети прикладних програм (ППП) представляють певні комплекси, орієнтовані на рішення конкретного класу завдань. Операційні системи відносять до загальносистемного програмного забезпечення, а ППП реалізуються на основі операційних систем і характеризують фактичне наповнення методико-орієнтованих АСОД і проблемно-орієнтованих (або предметно-предметно-орієнтованих) АСОД, у тому числі АСОД комплексного аналізу.

Основні принципи розробки методико-орієнтованих систем обробки геофізичних даних були сформульовані В.В. Ломтадзе в такий спосіб:

- розв'язок питань організації даних;
- незалежність даних від програм і одних програм від інших;

- розвиток системи при можливості взаємодії із програмами загального призначення;
- відсутність практичних обмежень на обсяги оброблюваних даних;
- безперервність технології обробки матеріалів;
- мінімальна залежність текстів програм від типів ЕОМ;
- гнучкість обробки або можливості включення програм у граф обробки в будь-якій доцільній послідовності;
- орієнтація на кінцевого користувача, незнайомого з особливостями операційної системи конкретної ЕОМ;
- простота й зручність мови користування;
- мінімальна залежність функціональних модулів від системних.

Викладена технологія побудови методно-орієнтованих АСОД була реалізована В.В. Ломтадзе на прикладах систем СЕЙСПАК [1].

Обробка даних сейсмозвідки здійснюється з використанням спеціалізованих АСОД. Одна з перших систем, створена в Центральній геофізичній експедиції колишнього Міністерства нафтової промисловості, нині Міненерго РФ, була призначена для ЕОМ єдиної серії (ЄС ЕОМ) і одержала назву СЦС-3. Ця система програмно сумісна із закордонними ЕОМ типу IBM 360/370 з операційною системою OS. У 1988 р. СЦС-3 визнана підно Державної премії СРСР і дотепер використовується при стандартній обробці даних сейсмозвідки. На її зміну прийшла нова версія СЦС-5 для ОС WINDOWS і СЦС-5-2D для ОС UNIX.

У наш час, в основному, виробниками програмного забезпечення для сейсмозвідки є закордонні компанії: Halliburton (США) із системою ProMAX, Paradigm Geophysical Ltd із системою Focus, CGG (Франція) із системою Integral Plus, що включає спільну обробку даних сейсмозвідки й геофізичних досліджень свердловин, Mercury International Technology (США) із системою XL, VERITAS із Hampson-Russell, що включає AVO та інверсію [6].

Перша версія системи ProMAX була орієнтована на роботи станції типу RISC і в наш час застосовується на досить потужних робочих станціях IBM RISC-6000, SP-2, SUN SPARC, Silicon Graphics. Її особливостями є можливість реалізації паралельних обчислень за рахунок розпаралелювання як прикладних, так і загальносистемних, що особливо важливо для процедур 3D-міграції до й після підсумовування сейсмічних трас. Одна з перших вітчизняних систем СОС-3С (сейсмічна обробка система змінної структури), створена в 1980 р. у «Внигеофизика», була орієнтована на багатопроцесорні обчислювальні комплекси ПС-2000, що забезпечують паралельне виконання декількох процедур обробки. Висока продуктивність при цьому досягалася саме за рахунок розпаралелювання процесу обробки даних за умови одночасної обробки 32 або 64 сейсмічних трас.

В даній роботі представлена методика обробки сейсмічної інформації [7, 8] на північно-західному шельфі Чорного моря в двох потужних системах обробки: ProMAX компанії Landmark (рис. 1) та FOCUS компанії Paradigm [2, 12, 13].

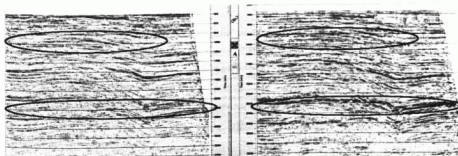


Рис. 1. Результати обробки сейсмічної інформації одного з профілів на північно-західному шельфі Чорного моря в системі ProMAX компанії Landmark. а) Експрес обробка (цільові горизонти слабо прослідковуються); б) детальна обробка (чіткі цільові горизонти, зменшення хвиль завод)

Розроблений граф може використовуватись як «оптимізований-пілотний» практично на будь-яких матеріалах морської сейсмозвідки в акваторіях Чорного та Азовського морів, та при певних допущеннях, на матеріалах наземної сейсмозвідки. Програми та алгоритми в графі можуть адаптуватись під різного роду польові матеріали та геологічну обстановку. В цьому і полягає практична цінність запропонованого оптимального графу обробки.

Рекомендований авторами граф обробки включає в себе такі основні етапи:

1. **GIN** Уведення польових сейсмограм.
2. **MARINE** Аналіз та введення параметричної інформації.
3. **PROSHOT** Формування геометрії (запис параметричної інформації в заголовки трас).
4. **VELDEF** Уведення априорної швидкості (використовується для побудови априорного часового розрізу).
5. **STACK** Побудова априорного часового розрізу СГТ.
6. **EDIT** Редакція вхідних сейсмограм (видалення неякісних ділянок запису сейсмограм, задавання м'юстину).
7. **VELDEF** Уведення швидкісного закону для фільтру Радон (заниження швидкості для переспрямлення годографів однократно відбитих хвиль, недоспрямлення кратних хвиль).

8. **PRADMUS** Перший цикл фільтрації Радону (вдбір годографів за швидкостями за наступними параметрами: максимальний винос - 2550; мінімальне відхилення від спрямленого годографу -80 ms; максимальне відхилення - 360 ms, діапазон частот для трансформачії - від 6 до 80 Hz).

9. **DECONA** Деконволюція (дозволяє покращити роздільну здатність сейсмічних даних, послаблює кратні хвилі-завади та реверберації. Тестування здійснювалися за наступними параметрами: довжина оператора зворотного фільтру - 20 точок або 80 ms, вибір довжини вікна для розрахунку функції автокореляції).

10. **PRADMUS** Другий цикл фільтрації Радону з більш жорсткими параметрами (мінімальне відхилення від спрямленого годографу -20 ms, максимальне відхилення - 360 ms).

11. **VELDEF** Три цикли корекції швидкостей підсумування по СГТ (виділення на фоні хвильового поля однократно відбитих хвиль. Перебір здійснювався через кожні 50-100 точок СГТ).

12. **STACK** Формування часового розрізу СГТ.

13. **DMO** дає можливість привести кожен відлік траси до того положення, яке б він мав при нульовому виносі збуджувач-приймач (підвищує роздільну здатність сейсмічних даних, задається швидкість підсумування по СГТ).

14. **DECONA COHERE FILTER** Отримання фінального часового розрізу СГТ (деконволюція трас часового розрізу СГТ за наступними параметрами: деконволюція за передбаченням, довжина оператора 51 точка; вибір довжини інтервалу передбачення 100 ms, рівень білих завад 1 %. Когерентна фільтрація використовувалася для послаблення нерегулярного шуму в заданому діапазоні нахилів. Трапецієдальна фільтрація).

15. **VELDEF** Аналіз та введення швидкісного закону міграції.

16. **MIGRATE MIGFX** Виконання міграційних перетворень до сумування сейсмічних даних (MIGRATE). Перетворення вхідного сейсмічного розрізу СГТ у такий спосіб, щоб він відтворював справжнє положення відбиваючих горизонтів у просторі. Використовувались наступні параметри - швидкість СГТ, інтервал перерахунку хвильового поля 32ms, максимальний нахил для міграції 24 ms/trase.

Отримані результати мають високу роздільну здатність, майже не містять хвиль завад, на часових розрізах чітко прослідковуються сейсмічні горизонти.

**Розв'язок прямої задачі при моделюванні сейсмічного часового розрізу здійснювався за допомогою системи Tesseract 2D.** Сейсмічне моделювання є важливою складовою при обробці та необхідною складовою частиною процесу інтерпретації і одним з найбільш потужних засобів достовірного вивчення властивостей геологічного розрізу.

Для інтерпретації цінність представляє не модель, що нескінченно наближена до реального середовища, а модель яка придатна для вирішення конкретних сейсмогеологічних задач, що відображає тільки ті елементи реальних геологічних середовищ, які достатньо повно пояснюють особливості спостережуваних в експерименті хвильових полів (рис. 2). В результаті виникає необхідність побудови максимально простих моделей, які, з одного боку, дозволяють вирішувати поставлені задачі, а з іншою виконати розрахунки хвильових полів, що найбільш відповідають спостереженому полю.

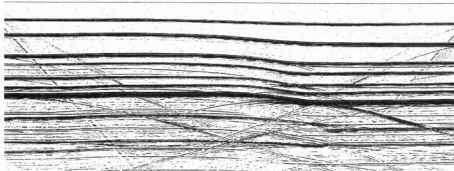
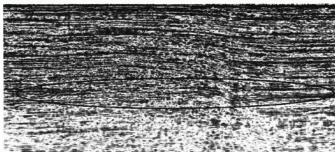


Рис. 2. Побудова моделі по алгоритму моделювання хвильових полів на основі пружного хвильового рівняння

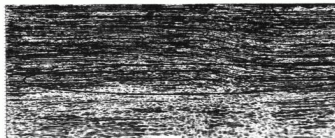
Tesseract 2D - це сучасний пакет сейсмічного моделювання, що здійснює пружне, акустичне та інші види моделювання, і дозволяє моделювати процеси розповсюдження сейсмічних і акустичних хвиль в неоднорідних середовищах ускладнених тектонічними порушеннями з різними кутами орієнтації. При розрахунках використовувались набори даних про фізичні властивості вміщувачів порід (швидкості, густина) за свердловинами. Синтетичний часовий розріз на основі товстощаруватої моделі (рис.2) з'являється із спостереженими даними (рис. 3а), при цьому перетворюється дійсна наявність горизонтів та інших особливостей геолого-геофізичної моделі [4; 9].

Моделювання надало можливість проводити аналіз процесу формування поля відбитих хвиль, оцінити роль багатократних відбиттів та визначити ефекти, які зумовлені змінами швидкісних характеристик середовища. Крім того, матеріали такого математичного моделювання можуть слугувати основою не тільки для перевірки виконаних побудов, але і для обґрунтування застосованого графу обробки та відповідно параметрів процедур, що входять до його складу. Це дозволило отримати важливі висновки для практики обробки та інтерпретації. А саме, на які особливості та прикмети слід звертати увагу на реальному запису при вивченні того чи іншого об'єкту та завдяки яким прийомом обробки можна максимально ефективно наблизитись до розпізнавання реального відображення геологічного об'єкту в сейсмічному полі.

Моделювання дало змогу визначити та обґрунтувати застосування конкретного графу та певних прийомів обробки, що, в свою чергу, дозволило надійніше проводити розпізнавання реальних відображень геологічних об'єктів в сейсмічному полі та мінімізувати кількість можливих помилок при обробці та структурних побудовах (рис. 35). На рисунку (б) виділено фрагмент де чітко простежуються цільові горизонти та підвищена динаміка розриву у порівнянні з (а).



а)



б)

Рис. 3. Порівняння результатів обробки без врахування (а) та з врахуванням (б) моделювання та тестування на модельних даних

**Система Petrel 2005.** Це програмний комплекс компанії Schlumberger для створення, підтримки і аналізу цифрової тривимірної структурно-параметричної моделі покладу нафти і газу на основі обробки, комплексної інтерпретації даних сейсморозвідки, геології, каротажу і петрофізики. Вона забезпечує повний комплекс модулів інтерпретації сейсмічних даних та даних геологічних досліджень свердловин, які представлені 12 складовими підсистемами [5].

Комплекс забезпечує високу точність, надійність і ефективність інтерпретації геолого-геофізичної інформації, характеризується гнучкістю та відвертістю архітектури і містить великий набір інтерпретаційних обчислювальних процедур.

Petrel дозволяє здійснити перехід від геологічної і геофізичної інтерпретації до динамічного моделювання з багатовимірною 3D візуалізацією.

Розроблений спеціальний інтерфейс між програмним комплексом і геолого-геофізичними даними, який визначає структуру і управління інтегрованою базою даних проекту.

Комплекс забезпечує:

- завантаження даних свердловин у форматах LAS, LST, RGI, ASCII;
- завантаження сейсмічних 2D і 3D даних в стандартному SEG Y форматі з оперативною настройкою на призначені користувачем формати;
- завантаження в 8, 16 і 32-х розрядному форматі;
- масштабування амплітуд сейсмічних даних при завантаженні;
- зберігання даних у відносних і географічних координатах;
- зберігання параметрів завантаження;
- вільний доступ до довільних геолого-геофізичних баз даних і гнучку настройку на формати імпорту і експорту даних за бажанням користувача.

Формування модуля «База Даних» починається з моменту створення проекту. Всі вхідні дані та результати інтерпретації класифікуються за видами геолого-геофізичної інформації (куби Cubes, ґриди Grids, порушення Faults, горизонти Horizons та інші) та зберігаються в базі даних.

Наявність підтримки різних цифрових форматів дає можливість експортування всіх даних проекту та їх результатів інтерпретації в інші інтерпретаційні пакети або галузеві бази даних.

При створенні моделі нафтогазових покладів однієї з площ північно-західного шельфу Чорного моря використували наступні вхідні дані:

1. Результати дослідно-методичної обробки сейсморозвідувальних робіт на площі дослідження.
2. Дані ГДС у свердловинах площі досліджень.
3. Дані по експлуатації промислових свердловин.

Структура модуля «База Даних» в пакеті представляє собою деревоподібну схему з наперед визначеними назвами складових елементів, де будуть зберігатися відповідні первинні дані та результати моделювання.

В **Petrel 2005** слід звернути увагу на оновлені модулі: «Геометричне моделювання», «Петрофізичне моделювання», «Аналіз даних» [14; 15; 16].

**Геометричне моделювання.** Геометричні властивості - це властивості, утворені використанням визначених задалегідь параметрів системи, таких як Cell Height (висота комірки), Bulk Volume (загальний об'єм), Depth (глибина комірки) і Above Contact (відстань до рівня контакту). Кожній комірці присвоюється числове значення, яке відповідає вибраній системі. Ці властивості важливі при підрахунку запасів та для здійснення математичних операцій між петрофізичними властивостями.

**Петрофізичне моделювання (Petrophysical Modeling).** В якості вхідних даних використовуються перемасштабовані каротажні криві або тренди, а також різні доступні користувачу установки. При здійсненні петрофізичного моделювання всі комірки отримують значення моделюючої властивості. Значення свердловин або трендів розподіляються по об'єму, який заданий 3D ґридом. Доступні наступні методи петрофізичного моделювання: Sequential Gaussian Simulation (SGS) (стохастичний) - враховує свердловинні дані, вхідні розподіли, варіограми та тренди. Варіограма та розподіл використовуються для створення локальних варіацій, навіть на відстані від вхідних даних. Kriging (Інтерполяція) - враховує свердловинні дані, варіограми та тренди. Значення між вхідними точками вводу інтерполюються детерміністично з використанням варіограми, тому численні реалізації будуть ідентичними. Moving average (Інтерполяція) (Плаваюче середнє) - враховує свердловинні дані та тренди. Прилискує середнє значення кожної комірки, що не має перемасштабованого значення та розраховує згідно з відстанню від свердловин. Functional (Інтерполяція) - враховує свердловинні дані та тренди. Будує тримірну функцію (параболічну, просту параболічну, пласку, білінійну), яка повинна використовуватися при інтерполяції. Closest (Інтерполяція) - враховує свердловинні дані. Використовує найближче значення для кожної комірки, що не має перемасштабованого значення. Assign values (Задати значення) - Група опцій, що включає в себе можливість задавати всім коміркам в вибраній зоні постійне значення, невизначене значення, збергати попередні значення або перемасштабовані значення з іншої властивості або поверхні. Сейсмічний об'єм також може бути вибраний як властивість. Neural Net (Нейронні сітки) - Модель нейронних сіток створюється, використовуючи спеціальний процес; може бути використана для створення безперервних властивостей.

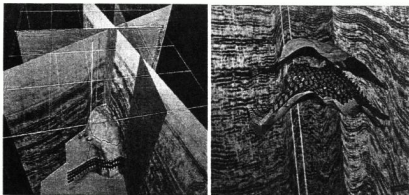


Рис. 4. Приклад побудови геолого-геофізичної моделі нафтогазових підкладів на північно-західному шельфі Чорного моря в системі Petrel 2005. Спільна візуалізація інтерпретації цільових горизонтів по сейсмічних профілях, свердловин, 3D моделі інтервальних швидкостей

**Аналіз даних (Data Analysis).** Data Analysis - це процес контролю якості даних, аналізу даних і підготовки вхідних даних для моделювання фацій і петрофізичного моделювання. Цей процес ділиться на два розділи:

1. Data Analysis Process (Процес аналізу даних) - включає в себе детальний аналіз пропорцій і товщини фацій, перетворення даних на неперервні властивостях, а також визначення спеціальних варіограм.
2. General Data Analysis Tools (Загальні інструменти аналізу даних) - включає в себе використання вікон Histogram і Function для вивчення розподілів властивостей і кореляції між ними [5].

В процесі створення бази даних по площі Шміда в пакеті **Petrel 2005** була побудована геолого-геофізична модель, яка складається з багатьох первинних та розрахованих складових елементів, що зберігаються у власній базі даних проекту і в будь-який момент часу можуть бути вилучені або доповнені новою інформацією. Дана модель може постійно вдосконалюватись і уточнюватись при отриманні додаткової інформації (рис. 4).

них геологічних процесів та екологічного стану середовища. Матер. VI Міжнар. наук. конф., К., 2005. 3. Кузьменко П.М., Тищенко А.П., Корониченко Є.С. Найпотужніші системи обробки сейсмічних даних (FOCUS, ProMAX) переваги і недоліки при рішенні різного роду задач обробки // Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: Матер. Всеукр. наук. конф. К., 2006. 4. Тищенко А.П., Кузьменко П.М., Корониченко Є.С. Способи побудови сейсмічних моделей геологічних середовищ // Проблеми нафтогазової геології: 36. наук. праць. Вип. 5. – К., 2007. 5. <http://www.aib.com/soft/geo/geoindex.asp>. 6. Кузнецов О.Л., Микшай А.А. Геоинформатика. – М., 1992. 7. Халтон Л., Уордстон М., Дж. Медлін. Обработка сейсмических данных. Теория и практика. Пер. с англ. – М., 1989. 8. Шериф Р., Гелдарт Л. Сейсмозадача: В 2 т. Т. 2. Пер. с англ. – М., 1987. 9. Плетчер С.Н. Анализ волновых полей для прогнозирования геологического разреза. – М.: 1989. 10. Бондарев, Крылатов С.М. Анализ данных сейсмозадачи. Екатеринбург, 2002. 11. Козлов Е.А. Модели среды в разведочной сейсмологии. Тверь, 2006. 12. Yilmaz et al. Interpretive Imaging of seismic data, The Leading Edge, 2001. 13. Yilmaz et al. Seismic Data Processing. – Tulsa, SEG, 1994. 14. Petrel, Seismic to Simulation Software, Introduction Course, v. 2005, Schlumberger Information Solution – 2006. 15. Petrel, Seismic to Simulation Software, Seismic Visualization and Interpretation, v. 2005, Schlumberger Information Solution. – 2006. 16. Petrel, Seismic to Simulation Software, Property Modeling Course, v. 2005, Schlumberger Information Solution, 2006.

Надійшла до редакції 28.03.08.

УДК 550.837

Б. Маслов, д-р фіз.-мат. наук, Г. Продайвода, д-р фіз.-мат. наук, М. Рева, канд. фіз.-мат. наук

## ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА ОЦІНКА ДОСТОВІРНОСТІ ВИЗНАЧАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ У ГЕОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩАХ СКЛАДНОЇ СТРУКТУРИ

*Модельовання фізико-механічної поведінки геологічного середовища складної мікроструктури являє собою основоположну задачу геофізичних досліджень. Як відомо [2], визначальні рівняння включають в себе матеріальні параметри або матеріальні функції, які не завжди можна знайти з прямих експериментів, але які мають бути ідентифікованими в результаті аналізу їх впливу на еволюцію змінних задачі. Це досягається шляхом оптимальної чисельної адаптації результатів геофізичного моніторингу. Загалом ця задача є вивчена математична проблема може бути розв'язаною із застосуванням процедури нелінійної оптимізації.*

*Розглядається нелінійна модель багатоконпонентного геологічного середовища [1], поведінка якого є залежною від наявності тришумності та флюїдонасичності [10]. На прикладі чисельного аналізу параметрів електромагнітного поля біля геометричних та матеріальних концентраторів проведено статистичний аналіз відповідності прогнозованих результатів експериментальним даним. Визначено межу достовірності запропонованої моделі для опису поведінки середовища та типу неоднорідних концентраторів електромагнітного поля в залежності від заданого прийнятного рівня похибки та доступних статистично обґрунтованих даних геофізичних спостережень.*

*Робота є продовженням досліджень авторів у напрямку створення достовірної моделі бази для комп'ютерного прогнозу еволюції геофізичних механічних та електромагнітних полів у середовищах складної мікроструктури.*

*Modelling of the physic-mechanical behavior of geological complex structure media is the milestone problem in geophysics. It is well-known that constitutive equations contain the material parameters or material functions that can not be defined from simple experiments but have to be identifiable as a result of their influence on the problem variables evolution. It may be realized by optimal numerical adaptation of the geophysical monitoring results. It is an ill-posed mathematical problem in common case that can be solved by using nonlinear optimization procedure.*

### 1. Континуальна пошкодженість та її зв'язок із електричними та пружинними характеристиками

Згідно із новою парадигмою геофізики, розробленою авторами в [1, 4], реальне геологічне середовище розглядається як деяка нелінійна багатокомпонентна тришумувата геосистема. Ієрарховано співзалежні компоненти цієї геосистеми дискретно-навернуто заповнюють геологічний простір  $\Omega$  та постійно знаходяться в напружено-деформованому стані під впливом електромагнітного поля [2].

Фрагментація літосфери на блоки та пластини відображає як процеси релаксації напружень при внутрішніх енергообмінних процесах, так і особливо процеси деформування при різному термодинамічному та флюїдно-газовому режимі. Кожному конкретному типу фізико-механічного процесу відповідає свій специфічний масштабний рівень у блочній ієрархії, який відображається в макроструктурі, мезоструктурі та мікроструктурі.

Якщо роль фізико-механічних процесів на макрорівні достатньо вивчена у сенсі розуміння рухів блоків як твердих тіл, хвилювань рухів згину у плитках, квазіпластичних течій та ін., то особливості цих явищ на мезо- та мікрорівні досліджено менш детально. При цьому важливість таких процесів як дилатанція, розвиток мікро- та макротріщин та спричинених ними розломів не викликає сумнівів.

Отже, поведінку реальних геологічних середовищ при напруженнях, близьких до руйнівних, природно розглядати з точки зору нового напрямку геомеханіки – фізичної мезомеханіки. Вважається, що безпосередньо перед руйнуванням, тобто виникненням розлому, в геологічному середовищі створюється нова специфічна мезоструктура, яка складається із міцних доменів та областей текучості. Вона формується в процесі підготовки руйнування як власне реакція геологічного середовища із певними реологічними властивостями на догровтивале навантаження, а також зміну теплового та флюїдно-газового режиму. При цьому, як виявляється, перед крихким руйнуванням, що проявляється в розломах, відбуваються інтенсивні пластичні процеси – виникають фронти дефектності більш високих структурних рівнів, які розповсюджуються від кінця мікротріщини та поступово спричиняють умови руйнування геосередовища. Ці рухи та деформації літосфери призводять до розривних порушень, що супроводжуються вивільненням значної пружної енергії. Проведені експерименти з руйнування гірських порід при їх циклічному навантаженні підтверджують факт створення різного типу мікропошкоджень та подальшого розвитку домінуючої тріщини, що і призводить до формування розлому. Вважаємо, що мікропошкодження є достатньо численими та випадково розподіленими по деякій репрезентативній області  $\Omega$  геологічного середовища.

Прогнозування моменту руйнування геологічного середовища є однією з центральних проблем геомеханіки, в зв'язку з моделюванням можливих небезпечних ситуацій. У зрахах гірської породи, що піддаються циклічним навантаженням, на різних внутрішніх дефектах зароджуються та отримують розвиток тріщини або ж структурні елементи другого порядку. Внаслідок їх розвитку з'являється домінуюча тріщина, яка може стати критичною у тому розумінні, що при досягненні нею певної критичної довжини вона стає нестійкою та починає розповсюджуватися із нескінченною швидкістю (практично миттєво). В класичній моделі руйнування Гріффітса вважається, що коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН) на фронті тріщини якраз може бути параметром, що визначає критичність стану. Але в геологі-