

Порівнюючи три рисунки, ми бачимо, що часи вступу P та S -хвиль співпадають, тобто $t_p = 3,7$ і $t_s = 5,9$. Різниця $t_p - t_s = 2,2$, що відповідає реальному запису.

Амплітудні значення для зміщень P та S -хвиль, порохованих матричним методом, програмою ISOSYN та на реальних записах співрозмірні і форми сигналів подібні.

Висновок. Порівнюючи результати програми, розробленої авторами на основі матричного методу, з результатами, отриманими програмою ISOSYN, та з реальними записами сейсмічних подій, можемо стверджувати, що теоретичні розрахунки дають значення сейсмічних полів, близькі до реальних.

Використовуючи метод підбору параметрів тензора сейсмічного моменту у запропонованому пакеті програм, розробленому у системі Matlab, та змінюючи кут нахилу

площини розриву у програмі ISOSYN, можна добитися схожості форм основних типів хвиль, знаків вступів перших хвиль та різниці між часами вступів P та S хвиль на реальних записах та на теоретичних сейсмограмах. Отже, порівнюючи результати розрахунків за двома програмами із параметрами записів реальних землетрусів, можна методом підбору визначати тензор сейсмічного моменту реальних землетрусів, що є важливим для вивчення механізму вогнища. Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку більш досконалої, ніж метод підбору, методики вирішення оберненої динамічної задачі сейсмології з визначення параметрів вогнища землетрусу за сейсмічними записами на основі представленої в статті методики вирішення прямої задачі.

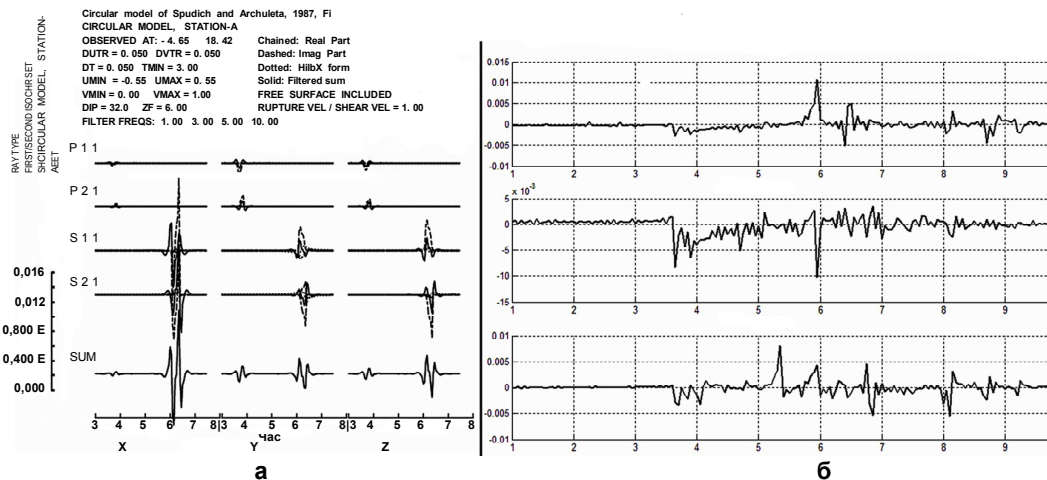


Рис. 3. Компоненти $u_x^{(0)}, u_y^{(0)}, u_z^{(0)}$ поля переміщень на вільній поверхні при $r = 19\text{ км}$, пороховані за допомогою програми ISOSYN (а) та за допомогою Matlab (б)

1. Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология: Теория и методы. – М., 1983. – Т. 1, 2. 2. Dunkin J.W. Computation of modal solutions in layered elastic media at high frequencies. // Bul. Seismol. Soc. Amer. – 1965. – Vol. 55. – N 2. – P. 335–358. 3. Guangwei Fan, Terry Wallace. The determination of source parameters for small earthquakes from a single, very broadband seismic station // Geophysical research letters. – 1991. – Vol. 18. – N 8. – P. 1385–1388. 4. Карпатський геодинамічний полігон / Под ред. Я.С. Подстригача і А.В. Чекунова. – М., 1978. 5. Kennet B.L.N. The seismic wavefield // University Press. – Cambridge, 2001. 6. Малицький Д.В. Основні принципи розв'язання динамічної задачі сейсмології на основі рекурентного підходу // Геофіз. журн. – 1998. – N 5. – С. 96–98. 7. Малицький Д.В., Муїла О.О. Про застосування матричного методу і його модифікацій для дослідження поширення сейсмічних хвиль у шаруватому середовищі // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. – 2007. – С. 124–136. 8. Малицький Д.В., Хитряк О.І. Математичне моделювання хвильових процесів у шаруватому півпросторі з використан-

ням матриць шостого порядку // Геоінформатика. – 2008. – N 4 (в друці). 9. Молотов Л.А. Исследование распространения волн в пористых и трещиноватых средах на основе эффективных моделей Био и слоистых сред. – М., 2001. 10. Молотов Л.А. Матричный метод в теории распространения волн в слоистых, упругих и жидких средах. – М., 1984. 11. Müller G. The reflectivity method: a tutorial // Geophys. J. – 1985. – N 58. – P. 153–174. 12. So Gu Kim, Kraeva N. Source parameter determination of local earthquakes in Korea using moment tensor inversion of single station data // Bul. Seismol. Soc. Amer. – 1999. – Vol. 89. – N 4. – P. 1077–1080. 13. Spudich P., Frazer L.N. Use of ray theory to calculate high frequency radiation from earthquake sources having spatially variable rupture velocity and stress drop // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1984. – Vol. 74. – P. 2061–2082. 14. Червень В. Расчет синтетических сейсмограмм для одномерных и двумерных сред. Численные методы в сейсмических исследованиях. – Новосибирск, 1983. – С. 41–53.

Надійшла до редколегії 25.09.08

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

УДК 550.83:622,275

В. Курганський, д-р геол.-мінералог. наук, В. Колісніченко, канд. геол.-мінералог. наук, В. Маляр, асп.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ "МОНТЕ-КАРЛО" ПРИ ІМОВІРНІСНИХ РОЗРАХУНКАХ, ПОВ'ЯЗАНИХ З ОЦІНКОЮ ЗАПАСІВ ВУГЛЕВОДНЕВОЇ СИРОВИНИ

Показано доцільність застосування розрахункових параметрів та їх результатуючих значень у вигляді імовірнісних функцій для вирішення задачі підрахунку запасів вуглеводнів. Продемонстровані можливості методу "Монте-Карло" при вирішенні поставленої задачі. Коротко наведений алгоритм розрахунків та продемонстровані як кінцеві, так і поточні результати досліджень.

It is describing the application of the probability functions for determination calculation parameters. Application of "Monte Carlo" method for estimation of hydrocarbonic reserves is shown. Algorithm of calculations and research results are described.

Вступ. Підрахунок запасів нафти, газу та газоконденсату – складна, трудомістка і досить важлива задача,

правильне вирішення якої визначає подальшу раціональну розвідку і ефективну розробку родовища.

Основними методами підрахунку запасів нафти є об'ємний метод, статистичний і метод матеріального балансу. При підрахунку запасів вільного газу і газоконденсату використовують об'ємний метод і метод оцінки запасів по падінню тиску [3].

Вибір методу оцінки запасів вуглеводнів залежить від ступеня геолого-геофізичного вивчення родовища на час проведення підрахунків, а точність оцінки – від обґрунтованості і точності визначення підрахункових параметрів, які характеризують породу-колектор. Для оцінки запасів родовищ або окремо взятих відкладів нафти і газу вирішальне значення мають: форма і площа відкладів, ефективна нафто- або газонасичена пористість пластів-колекторів, їх ефективна пористість і коефіцієнт нафто- або газонасичення. Однак наші знання про ці характеристики родовища ніколи не є вичерпними й повністю адекватними, завжди при їх визначенні існує вплив похибок геофізичних вимірів, закладених в первинну геолого-геофізичну інформацію, а також пов'язаних з використанням методик і петрофізичних зв'язків, за якими визначаються підрахункові параметри. Основними причинами найбільш впливових похибок в оцінці запасів нафти та газу є: недостатність необхідної інформації, низька її якість, використання неправильних алгоритмів обробки цієї інформації.

В сучасній практиці підрахунку запасів вуглеводневої сировини найбільш часто застосовується об'ємний метод, а результуюча оцінка є точковою. В той же час, в США, Японії й інших закордонних країнах запаси нафти й газу визначаються й затверджуються у вигляді функцій розподілу ймовірності, її використовують для класифікації запасів за міжнародними стандартами. Беручи до уваги недостатність інформації, особливо на ранніх стадіях освоєння родовищ, і громіздкість операцій з цими функціями, в теорії ймовірностей для вирішення практичних завдань найчастіше застосовують моделювання необхідних функцій методом "Монте-Карло" (ММК).

Ряд закордонних компаній (Schlumberger, Landmark та ін.), що займаються створенням програмного забезпечення з керування нафтогазовидобувними комплексами, усе більше приділяють увагу методам і програмам прийняття рішень в умовах невизначеності й ризику, при цьому в основному всі методики зводяться до ММК.

Метою статті є проведення розрахунків запасів вуглеводнів за допомогою ММК з використанням реальних матеріалів одного з родовищ ДДЗ і порівняння результатів з класичним, об'ємним методом.

Метод "Монте-Карло". Датою народження ММК прийнято вважати 1949 р, коли з'явилася стаття за назвою "The Monte Carlo method". Творцями цього методу вважають американських математиків Дж. Неймана й С. Улама. У СРСР перші статті про ММК були опубліковані в 1955-1956 рр. Цікаво, що теоретична основа методу була відома давно. Більше того, деякі завдання статистики розраховувалися іноді за допомогою випадкових вибірок, тобто фактично ММК. Однак до появи електронних обчислювальних машин (ЕОМ) цей метод не міг знайти широкого застосування, тому що моделювання випадкових величин вручну – дуже трудомістка робота. Виникнення ММК як досить універсального чисельного методу стало можливим тільки завдяки появі ЕОМ.

Ідея полягає в наступному. Замість того, щоб вирішувати задачу аналітичними методами, використовуючи диференціальні або алгебраїчні рівняння, виконується "розіграш" випадкового явища за допомогою спеціально організованої процедури, що включає в себе випадковість і дає випадковий результат. Для кожного елемента, що бере участь у моделюванні, задаються характеристики розподілу. Здійснення випадкового процесу відбувається щораз по-іншому і ми одержуємо щораз нову, відмінну від інших, реалізацію досліджува-

ного процесу. Таким чином можна отримати необхідну кількість штучної інформації, яку вже можна обробляти звичайними методами математичної статистики. При підрахунках запасів, у яких бере участь велика кількість елементів (геометричних і петрофізичних характеристик родовища) і випадкові фактори складно переплетені, метод статистичного моделювання, як правило, виявляється простішим за аналітичний, а інколи і єдино можливим. Математичний процес моделювання детально розглянутий в статті М.Н. Жукова та К.Л. Довженко [4].

Головним недоліком ММК є те, що він є ефективний при вирішенні прямих задач, але не застосовується для обернених.

Перевага ММК при вирішенні задач підрахунку запасів вуглеводневої сировини в тому, що геометричні конфігурації родовища й розподіл петрофізичних параметрів можна описати достатньо точно навіть при невеликій кількості інформації.

Результати досліджень. Застосування ММК продемонструємо на прикладі підрахунку запасів газу в теригенних відкладах московського ярусу Вільхівського ГКР. Родовище розташоване на території Станично-Луганського району Луганської області. Вільхівська структура розташована на північній окраїні Донбасу, в перехідній зоні між Донецькою складчастою спорудою і Воронежським кристалічним масивом, являє собою брахіантиклінальну складку з двома склепіннями (західним і східним). Московський ярус літологічно представлений невитриманими по площі пластами аргілітів, алевролітів та пісковиків і зрідка перемежується тонкими вапняками. Пісковики переважно добре проникні, зеленувато-бурувато-сірі, кварц-полевошпатові, середньо та крупнозернисті з полімінеральним цементом (матеріали для дослідів надано ЗАТ "Концерн Надра" та ДК "Укргазвидобування").

При розрахунках запасів газу в теригенних відкладах московського ярусу Вільхівського родовища була застосована наступна формула:

$$Q_{\text{пл}} = \frac{S \cdot H_{\text{эф}} \cdot K_{\text{п}} \cdot K_{\text{г}} \cdot P_{\text{пл}} \cdot f}{Z \cdot P_{\text{ст}}}, \quad (1)$$

де: $Q_{\text{пл}}$ – початкові запаси пластового газу, млн. м³; S – площа газонасиченості, м²; $H_{\text{эф}}$ – ефективна газонасичена товщина колектора, м; $K_{\text{п}}$ – коефіцієнт пористості, д. од; $K_{\text{г}}$ – коефіцієнт газонасиченості, д. од; $P_{\text{пл}}$ – пластовий тиск, атм; $P_{\text{ст}}$ – стандартний тиск (поверхневий), атм; f – поправка на температуру; Z – коефіцієнт стиснення газу.

Для петрофізичних властивостей продуктивного горизонту ($K_{\text{п}}$, $K_{\text{г}}$, $H_{\text{эф}}$) були складені вибірки даних на основі інтерпретації матеріалів ГДС, а для інших параметрів (S , $P_{\text{пл}}$) задавалися наступні характеристики: максимальне, мінімальне й найбільш ймовірне значення.

Визначення площі газонасиченості проводилось на основі даних пробурених свердловин і їх випробувань. Пластовий тиск брався за результатами прямих вимірів, виконаних глибоким манометром до початку розробки відкладів. Стандартний тиск прийнятий за 1.033 атм.

Поправка на температуру визначається згідно із загальноприйнятою методикою за формулою:

$$f = \frac{T + t_{\text{ст}}}{T + t_{\text{пл}}}, \quad (2)$$

де: $t_{\text{ст}} = 20^{\circ}\text{C}$, $T = 273\text{ K}$, $t_{\text{пл}}$ – температура середини підрахункового об'єкту.

Оскільки обраний нами горизонт залягає на незначній глибині (450-500 м) і за даними термокаротажу температура на цих глибинах коливається від 19 до 21 $^{\circ}\text{C}$, поправку на температуру ми прийняли за 1.

Коефіцієнт стиснення газу Z , що представляє собою відношення об'ємів рівної кількості молей реального і ідеального газів при однакових тиску і температурі,

розраховувався з урахуванням компонентного складу газу згідно із загальноприйнятими методиками [2].

Ці дані використовувалися для побудови щільності та функції розподілу підрахункових параметрів, що входять до формули (1), за методом "Монте-Карло" і подальшого моделювання функції розподілу запасу газу. При дослідженнях для одержання статистичного мате-

ріалу проводилось 5000 випробувань (розіграшів) для кожного параметру.

Для прикладу наведемо відносні щільності та функції розподілу, штучно отримані за допомогою ММК, результатів моделювання площі газонасиченості та ефективної газонасиченої товщини колектора московського ярусу Вільхівського ГКР (рис. 1).

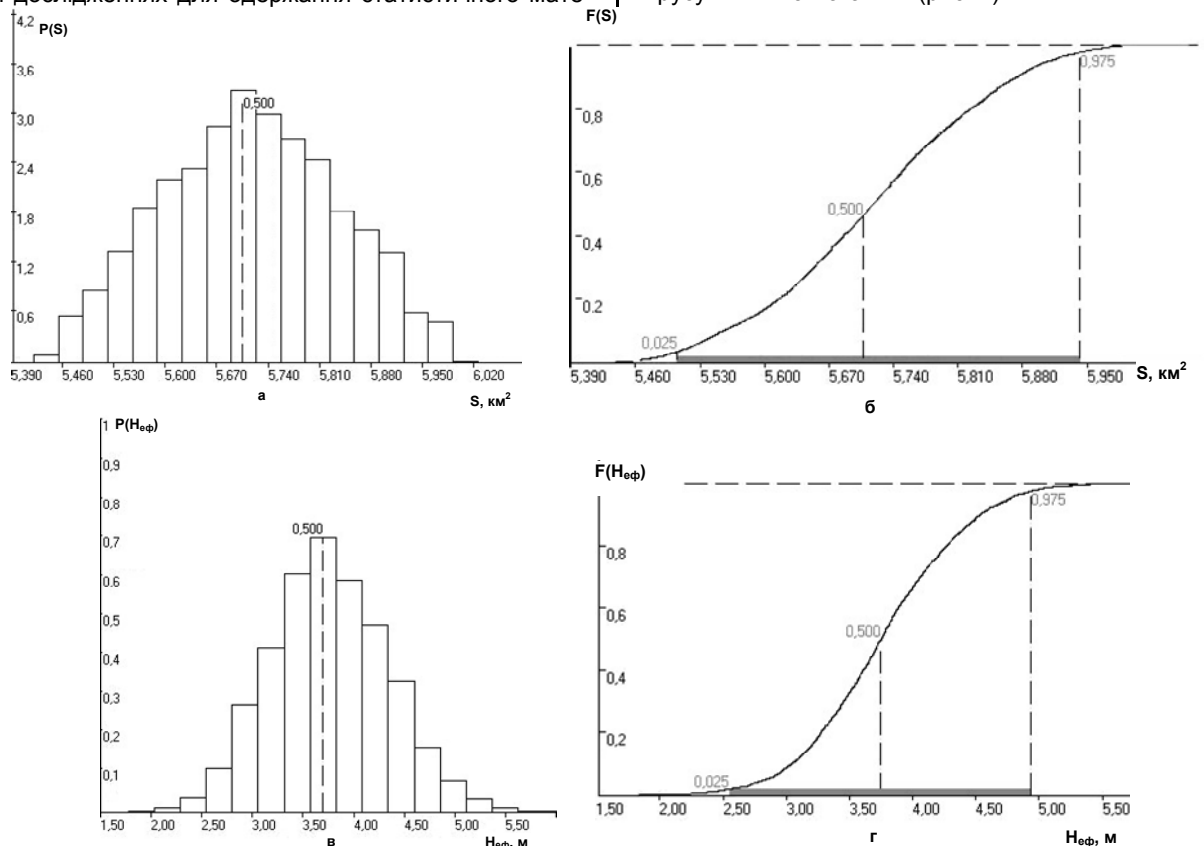


Рис. 1. Відносні щільності та функції розподілу, змодельованих даних за допомогою ММК:

а) відносна щільність розподілу площі газонасиченості; б) функція розподілу площі газонасиченості;

в) відносна щільність розподілу ефективної газонасиченої товщини колектора;

г) функція розподілу ефективної газонасиченої товщини колектора

Аналогічним чином будувались функції імовірності розподілу для кожного компонента з формули (1). Після цього проводилось моделювання саме функції розподілу запасу газу в продуктивному горизонті, що зображено на рисунку 2.

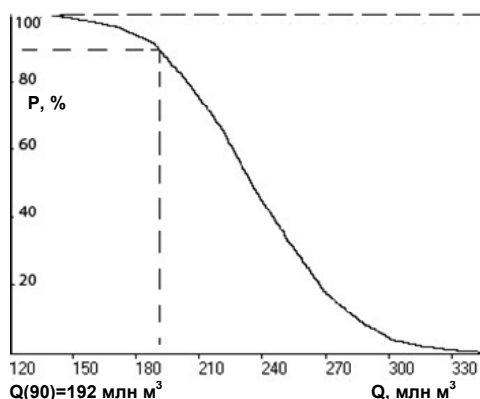


Рис. 2. Кумулятивна функція розподілу запасу газу в продуктивному горизонті.

$Q(90)$ – запас газу при імовірності 90

Підрахувавши запаси газу у продуктивному горизонті об'ємним методом ($Q_{об}$), використовуючи середньо-

зважені арифметичні та геометричні параметри, було отримано значення $Q_{об} = 192$ млн. m^3 . При порівнянні $Q_{об}$ із графіком, побудованим за допомогою ММК, можна помітити, що воно співпадає із імовірністю в 90 %, тобто можна сказати, що з імовірністю в 90 % об'єм запасу газу буде дорівнювати чи перевищувати об'єм, вказаний в оцінці. Подальші досліді, в інших продуктивних горизонтах, показали, що $Q_{об}$ не завжди співпадає з 90 % імовірністю, а здебільшого перевищує її і наближається до 100 % показника.

При подальшому аналізі був отриманий наступний внесок складових рівняння у похибку оцінки запасу:

- 1) Площа газонасиченості – 2,6 %;
- 2) Ефективна газонасичена товщина колектора – 70,5 %;
- 3) Коефіцієнт пористості – 7,7 %;
- 4) Коефіцієнт газонасиченості – 16,7 %;
- 5) Пластовий тиск – 2,5 %.

Висновки. Проаналізувавши отримані дані можна зазначити, що для підвищення рівня оцінки запасів газу в московському ярусі Вільхівського ГКР необхідно більшу увагу приділяти точності визначення ефективної газонасиченої товщини колектора та коефіцієнту газонасиченості, які мають найвагоміший внесок в даний випадку.

Використання розрахунків підрахункових параметрів методом "Монте-Карло" доцільно застосовувати при оцінці запасів вуглеводнів, особливо на початкових

стадіях розробки, або при необхідності швидкої експертної оцінки підрахунку запасів родовища. Цей метод дозволяє також класифікувати запаси родовища за міжнародними стандартами, використовуючи функції розподілу ймовірності.

УДК 550:539.3

1. Алтунин А.Е., Семухин М.В. Расчеты в условиях риска и неопределенности в нефтегазоносных технологиях. – Тюмень, 2004. 2. Гришин Ф.А. Оценка разведанных запасов нефти и газа. – М., 1969. 3. Жданов М.А. Нефтегазопромысловая геология и подсчет запасов нефти и газа. – М., 1981. 4. Жуков М.Н., Довженко К.Л. Моделирование распределений подсчетных параметров в задаче оценки запасов углеводородов методом выпадковых испытаний. – К., 2005. 5. Соболев И.М. Метод Монте-Карло. – М., 1968.

Надійшла до редколегії 03.09.08

Б. Маслов, проф., Я. Ляшенко, доц., О. Максименко, здобувач

ПРОГНОЗУВАННЯ ДОВГОТРИВАЛОЇ МІЦНОСТІ ГІРСЬКОГО МАСИВУ У ГЕОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩАХ СКЛАДНОЇ СТРУКТУРИ

Розглядається нелінійна модель багатоконпонентного геологічного середовища, поведінка якого є залежною від наявності тріщинуватості та флюїдонасиченості. Проведено геоінформаційний аналіз параметрів в'язкопружного поля біля концентраторів деформацій типу виробок метрополітену на відповідність прогнозованих результатів експериментальним даним. Визначено межу достовірності запропонованої моделі для опису поведінки середовища та типу неоднорідних концентраторів геодинамічних полів навантажень поля в залежності від заданого прийнятного рівня похибки та доступних статистично обґрунтованих даних геофізичних спостережень. Робота є продовженням досліджень авторів у напрямку створення достовірної модельної бази для комп'ютерного прогнозу еволюції геодинамічних полів у середовищах складної мікроструктури.

The nonlinear model of multi-component geological environment which depends on the presence of the cracks and fluid saturation is examined. On the example of numerical quantitative analysis of viscous and elastic field parameters near geometrical and material concentrators, like as underground metro passage, the statistical analysis of the forecast results' correspondence to experimental data has been done. Work is a continuation of author's research of creation the reliable model base for computer forecasting of evolution and geodynamic fields in the environments of difficult structure.

Геологічні співвідношення та постановка задачі про надійність потенційно небезпечних об'єктів (ПНО).

Розглянемо модель деформування матеріалів з дефектами, гірських порід та вугілля із врахуванням фактору часу на основі співвідношень механіки повзучості. Включення елементів в'язкості в механічну модель матеріалу робить модельні співвідношення залежними від часу [6]

$$e(t) = \frac{1}{E} \left[\sigma(t) + \int_0^t \sigma(\tau) J(t-\tau) d\tau \right] \quad (1)$$

Тут $e(t)$ – тензор деформацій, $\sigma(t)$ – тензор напружень, E – тензор пружності, $J(t)$ – ядро повзучості геологічного середовища, t – час. В геодинамічних дослідженнях найчастіше застосовується ядро повзучості типу Работнова.

$$J_{\alpha}^R(-\beta; t-\tau) = (t-\tau)^{-\alpha} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{-\beta^n (t-\tau)^{n(1-\alpha)}}{\Gamma[(n+1)(1-\alpha)]}. \quad (2)$$

Напружений стан пружно-повзучого гірського масиву навколо горизонтальної виробки (тунелю) достатньо глибокого закладання можна моделювати напруженнями в неваговому плоскому полі, яке послаблене отвором аналогічної форми і яке знаходиться в плоскій деформації з граничними умовами на нескінченності.

$$\sigma_x^{(\infty)} = p, \quad \sigma_y^{(\infty)} = \lambda p, \quad \tau_{xy}^{(\infty)} = 0, \quad (3)$$

де навантаження $p = -\gamma H$ залежить від густини геосередовища γ та глибини H тунелю. Параметр λ відбиває залежність σ_y від фізичних властивостей геосередовища, початок координат розміщено всередині отвору, вісь абсцис вертикальна.

Розглянуто процес пошкодження та руйнування в'язко-пластичних геологічних масивів під дією довготривалих та циклічних навантажень [6]. Для отримання рівнянь, які описували б розвиток макротріщини, необхідно розглянути процес розпушення та руйнування структурних елементів, які підпадають на напрямком зростання тріщини. На фронті тріщини втоми та на її продовженні відбувається процес накопичення мікропошкоджень втоми. Рівень пошкоджень для кожного

елементу визначається функцією $D(t)$ [4], кінетика накопичення яких задається диференціальним рівнянням

$$\dot{D}(t) = f(D, \sigma), \quad (4)$$

де t – час дії геодинамічних впливів, змінна D змінюється у границях $[0,1]$, при цьому $D=0$ відповідає початковому, непошкодженому матеріалу; а $D=1$ описує стан порушення суцільності матеріалу, так званого розпушення, тобто фактично момент руйнування. При накопиченні мікропошкоджень спостерігається зниження значень пружних модулів. Розглянемо надалі залежність еквівалентних функцій релаксації та повзучості від параметру мікропошкодження геологічного матеріалу D . Це надає можливість визначити ступінь деградації модуля Юнга і модуля зсуву від параметру пошкодженості D та спрогнозувати їх зміну у часі. Враховуючи пошкодженість або ж розпушеність геологічної породи та використовуючи розрахунки еквівалентних в'язкопружних характеристик для тріщинуватого середовища, отримаємо прогнозовану залежність коефіцієнтів концентрації напружень біля контурів виробок у гірських породах та дослідимо їх еволюцію у часі внаслідок процесів повзучості. Це пов'язано із необхідністю підвищення якості проектування та гарантованої безпечної експлуатації сучасних техногенних ПНО, а отже створення нових геодинамічних моделей поведінки навколишнього середовища. Сучасні методи геофізичного моніторингу, що базуються на нових моделях поведінки геологічних багатоконпонентних середовищ [2], надають можливість проводити розрахунки безпеки об'єктів на основі складних чисельних схем, максимально наближених до реальних умов (рис. 1).

Перспективною є концепція оцінки безпеки техногенних об'єктів, що знаходяться під впливом геодинамічних полів, по критеріях оптимальності показників надійності. У зв'язку з цим, геологічне середовище розглядається як нелінійна багатоконпонентна тріщинувата геосистема із випадковими властивостями [4].

Стан системи, що складається у даному випадку із масиву в'язкопружної породи та техногенної неоднорідності, у кожний момент часу t задається вектором $u(t)$ – елементом простору стану U . Зовнішні геофізичні впливи на об'єкт характеризуються векторним проце-