

складає 1,5 – 1,55 Ом*м (пластовий тиск 36,3 МПа при температурі 100° С)

для дрібнозернистого пісковику з інтервалу 2658 – 2665 м (зразок 8) питомий опір складає 1,5 – 1,55 Ом*м (пластовий тиск 36,3 МПа та температура 102° С);

для тонкозернистого пісковику з інтервалу 2665 – 2672 м (зразок 10) питомий опір складає 1,2 Ом*м (пластовий тиск 36,3 МПа при температурі 102° С).

Висновки. За електрометричними даними досить чітко виділяються 2 групи пісковиків: перша в інтервалі 2658 – 2672 м (зразки 8, 10), що характеризується значеннями питомого електричного опору 2,10 – 2,28 Ом*м та значеннями параметра пористості 10,1 – 10,9, і друга група в інтервалі 2439 – 2605 м (зразки 2, 4, 6) з питомим опором 3,32 – 3,81 Ом*м та значеннями параметра пористості 15,9 – 18,2.

Залежність питомого опору пісковиків від їх водонасичення має експоненціальний характер та високий коефіцієнт кореляції. При цьому також чітко виділяються вищезазначені дві групи пісковиків.

Вимірювання питомого електричного опору під тиском дало можливість оцінити питомий електричний опір досліджених пісковиків в пластових умовах, який складає від 2,6 Ом*м для аркозового пісковику тонкозернистого з інтервалу 2439 – 2444 м (зразок 2) до 1,2 Ом*м для тонкозернистого пісковику з інтервалу 2665 – 2672 м (зразок 10). Пісковики з інтервалу 2596 – 2665 м (зразки 6, 8) мають проміжні значення питомого електричного опору 1,5 – 1,55 Ом*м.

Питомий електричний опір порід-колекторів є важливою характеристикою стану прських порід і слугує одним із критеріїв при виділенні перспективних інтервалів.

Досліджені пісковики за величиною параметра пористості відносяться до III класу колекторів – пористість середня [1].

Дана робота розглядається авторами як методична розробка, основним завданням якої є відпрацювання методики дослідження електричних характеристик порід-колекторів Чорноморського шельфу та встановлення зв'язків між електричним опором і емісіоно-фільтраційними характеристиками з врахуванням свердловинних умов (тиску і температури). Для побудови повноцінної петроелектричної моделі порід-колекторів та встановлення залежностей "кern – геофізика" обсяг досліджень необхідно значно розширити.

1. Дажено В.Н. Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщения пород. – Москва: Недра, 1975. 2. Петрофизика. Справочник. /Под ред. Н.Б. Дортман / ч.1. – Москва: Недра, 1992. 3. Петрофизика. Справочник. /Под ред. Н.Б. Дортман / ч.2. – Москва: Недра, 1992. 4. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых. Справочник геофизика. – Москва: Недра, 1984. 5. Ладомонько Э.И. Электрические свойства горных пород. – Москва: Наука, 1985.

Надійшло до редакції 22.02.08.

УДК 550.830

Г. Продайвода, д-р фіз.-мат. наук, Т. Продайвода, асп.

ВИЗНАЧЕННЯ АНОМАЛЬНО ВИСОКИХ ПЛАСТОВИХ ТИСКІВ ЗА ДАНИМИ ВСП

Розглядається метод, який дозволяє визначити зону аномально високих пластових тисків і отримати кількісну оцінку пористості та порового тиску. Визначені термопружні властивості та їх похідні по тиску і температурі глинистих мінералів каолініту, гідролуду і монтморилоніту на штучних зразках глин мономінерального складу.

The method for determination of extra pressure zone, which provides quantitative estimation of porosity and pore pressure. Thermoelastic properties and their derivatives by pressure and temperature of kaolinite, hydromica, montmorillonite minerals are defined on artificial samples of monomineralic clays.

Проблема видобутку нафти та газу із глибокозалегаючих горизонтів з кожним роком стає все більш актуальною. Буріння свердловин на великі глибини, як правило, пов'язане із значними труднощами, які обумовлені наявністю на цих глибинах товщ із аномально високими тисками флюїдів. Для визначення порового тиску використовують дані польових сейсмічних і промислово-геофізичних досліджень. Для оцінки пластових і порових тисків необхідні надійні дані про термопружні властивості основних глинистих мінералів. Таких даних в літературних джерелах дуже мало. В зв'язку з цим нами були визначені термопружні властивості глинистих мінералів каолініту, гідролуду і монтморилоніту шляхом інверсії експериментальної залежності швидкості позовдовжніх хвиль від тиску і температури на штучних зразках чистих глин мономінерального складу за даними роботи [1].

Для цього використовувався новий метод визначення термопружних і пружних модулів мінералів та їх похідних по тиску і температурі, який детально описаний в роботі [2].

При чисельних розрахунках враховувалась мінералізація води, яка суттєво впливає на характер зміни швидкості позовдовжньої хвилі. Швидкість пружних хвиль у мінералізованій воді з ростом температури до 75 °С спочатку збільшується, а при її подальшому зростанні монотонно зменшується. Для оцінки швидкості розповсюдження позовдовжньої хвилі V_p у мінералізованій воді при зміні концентрації, тиску і температури використовувалась регресійне рівняння:

$$V_p = 14,10 + 4,21T - 0,037T^2 + 1,14C + 0,18P, \quad (1)$$

де T – температура води, °С; C – мінералізація води, %; P – гідростатичний тиск, кг/см².

При тисканні ефективні швидкості позовдовжніх і поперечних хвиль зростають, але відношення V_p/V_s у гідролуду і каолініту зменшується із ростом тиску. Ефективні модулі пружності K^* і G^* монотонно зростають при збільшенні тиску.

Ефективні швидкості позовдовжніх і поперечних хвиль штучних зразків глинистих мінералів при нагріванні зменшуються, але відношення V_p/V_s спочатку зростає, а потім монотонно зменшується. Аналогічний характер залежності

ті спостерігається і для ефективного модуля стиснення K^* , але ефективний модуль зсуву G^* з ростом температури монотонно зменшується.

Визначені за даними інверсії осереднені термопружні властивості та їх похідні по тиску і температурі гідрослюди, монтморилоніт і каолініту наведені в табл. 1. Надійність одержаних оцінок модулів об'ємного стиснення і зсуву оцінювалась шляхом співставлення їх із величинами швидкостей позовдовжніх хвиль цих мінералів, які одержані із множинної регресійної залежності для інтервального часу позовдовжніх хвиль встановленої на основі обробки експериментальних даних [4]:

$$\Delta T = A + B\omega_c + C\omega_c^2 + D\omega_c^3, \quad (2)$$

де ω_c – сумарна водонасиченість зразків глинистих мінералів,

A, B, C, D – емпіричні коефіцієнти за даними роботи [4].

Таблиця 1. Пружні модулі і коефіцієнти термічного розширення твердого скелету глинистих мінералів і їх похідні по тиску і температурі, які одержані за даними інверсії залежності швидкості позовдовжніх хвиль від тиску і температури штучних зразків мономінеральних глин (за даними роботи [3])

Мінерал	Модулі об'ємного стиснення і зсуву та їх похідні по тиску і температурі						Щільність, g/cm^3	Коефіцієнти лінійного розширення і їх похідні по тиску і температурі			Швидкості по- здовжніх хвиль $V_p, km/s$ (в чисельнику за даними інверсії, а в знаменнику експеримента- льні дані [4])
	K, GPa	$\frac{\partial K}{\partial P}$	$\frac{\partial K}{\partial T} \cdot 10^{-3} \frac{GPa}{^{\circ}C}$	G, GPa	$\frac{\partial G}{\partial P}$	$\frac{\partial G}{\partial T} \frac{GPa}{^{\circ}C}$		$\alpha, ^{\circ}C^{-1}$	$\frac{\partial \alpha}{\partial P} \cdot 10^{-3} \frac{^{\circ}C^{-1}}{GPa}$	$\frac{\partial \alpha}{\partial T} \cdot 10^{-4} \frac{^{\circ}C^{-1}}{^{\circ}C}$	
Гідрослюда	21,8	0,45	-0,09	8,6	0,03	-0,03	2,52	14,7	-1	5,0	$\frac{3,61}{3,66}$
Монт- морилоніт	15,1	0,7	-0,06	6,8	0,3	-0,01	2,35	14,0	-1	2,7	$\frac{3,21}{3,10}$
Каолініт	32,3	1,1	-	10,6	0,5	-	2,54	-	-	-	$\frac{4,28}{3,91}$

Згідно з експериментальними даними роботи [4] швидкість позовдовжніх хвиль в каолініті в інтервалі тисків 0,05-0,1 ГПа зростає значно швидше, ніж у інших глинистих мінералах, що пояснюється особливостями їх кристалохімічної структури.

Найбільша величина пружних модулів K і G характерна для каолініту: $K=32,3$ ГПа і $G=10,6$ ГПа. Величина пружних модулів гідрослюди, основної складової глин, дещо нижча $K=21,8$ ГПа і $G=8,6$ ГПа. За величиною коефіцієнта лінійного розширення гідрослюди і монтморилоніт майже не відрізняються.

Інтервали геологічного розрізу із аномально високим пластивим тиском називають зоною АВПТ. Тиски флюїдів всередині таких зон можуть перевищувати гідростатичні в 1,5-2 рази. Всередині зони АВПТ можуть існувати значні латеральні зміни тиску, але вона в цілому характеризується підвищеним пластивим тиском флюїдів. Можливість застосування сейсмоакустичних методів для прогнозування АВПТ визначається зменшенням швидкості розповсюдження сейсмічних хвиль порівняно із нормальним значенням швидкості для даної глибини залягання. Величина зміни швидкості залежить від величини збільшення внутрішнього тиску флюїдів і від величини збільшення пористості порід.

Вважається, що ефективний літостатичний тиск на породи визначається як різниця між повним тиском вищезалягаючої товщі прських порід P_c і тиском пластового флюїду P_f . Якщо змінюються обидва тиски - і вищезалягаючих порід і пластового флюїду, то суттєвий вплив на швидкості розповсюдження хвиль здійснює різниця між ними, тобто

$$\Delta P = P_c - P_f. \quad (3)$$

Проте в дійсності, як доведено експериментально, істинне співвідношення між цими тисками має такий вигляд:

$$\Delta P = P_c - nP_f, \quad (4)$$

де $n = \beta_p - \frac{\beta_m}{\beta_p}$ коефіцієнт внутрішньої деформації, β_p - об'ємна стискаємість всієї породи, а β_m - стискаємість матриці породи. Величина n змінюється у різних прських породах і, крім того, є функцією P_c .

Для визначення зони АВПТ нами були використані дані ВСП в свердловині, яка розташована на території північно-східного Передкавказзя [4]. Значення інтервального швидкостей сейсмічних хвиль в глинистій частині розрізу має аномальний характер. У випадку нормального закону ущільнення порід і при відсутності АВПТ швидкості сейсмічних хвиль в глинистих породах повинні закономірно зростати із глибиною.

На рис.1 наведені результати чисельних розрахунків швидкостей поперечних хвиль і відношення v_p/v_s в геологічному розрізі глинистих порід свердловини за даними інверсії, які свідчать про складний аномальний характер зміни цих параметрів з глибиною у глинистій частині розрізу і підтверджують наявність зони АВПТ та свідчать про зміну пластового тиску.

На рис. 2 наведені результати визначення порового і ефективного пластового тиску в свердловині Передкавказзя в глинистій частині геологічного розрізу за даними інверсії.

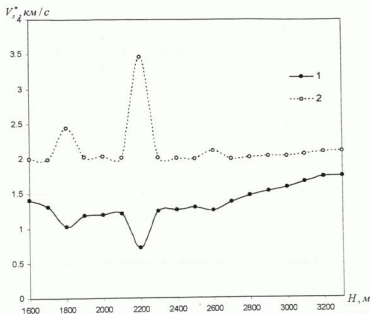


Рис. 1. Залежність ефективного швидкості поперечної хвилі і відношення швидкості поздовжньої хвилі до швидкості поперечної хвилі в свердловині Передкавказзя за даними інверсії. 1 – V_{t4}^* , 2 – V_p^*/V_{t4}^*

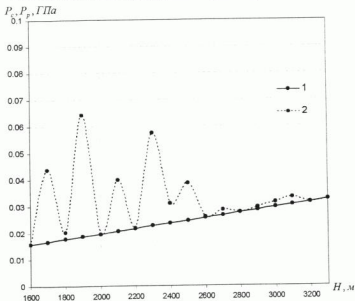


Рис. 2. Графік зміни літостатичного тиску (1) і порового тиску (2) флюїду в глибинній частині розрізу свердловини Передкавказзя за даними інверсії

Як видно із наведених даних, у глинистому розрізі спостерігається аномально високий поровий тиск (рис. 2, крива 2), величина якого змінюється з глибиною не регулярно. Зміни порового тиску і швидкостей корелюються із змі-

нами коефіцієнта пористості. За даними ГДС спостерігається відносне збільшення пористості у зонах аномального пластового тиску.

Таким чином, запропонований метод забезпечує визначення не лише положення верхньої границі зони АВПТ, але і кількісну оцінку пористості і порового тиску, що забезпечує суттєве підвищення ефективності виявлення зон АВПТ за даними сейсмомістики та кількісну оцінку параметрів структури порового простору.

1. Bata D.R., Cheng C.H., Wilkens R.H. Sandstone Pore Aspect Ratio Spectra from Direct Observation and Velocity Inversion // J. Rock Mech. Sci. & Geotech. Abstr. Vol. 27, No. 4, 1990. 2. Пробаєвська Г.Т., Маслов Б.Л., Вижак С.А. Математичне моделювання впливу тиску і температури на швидкість поручення хвиль гірських порід // Геофиз. журн., 2000, №3. 3. Cheng C.H., Toksoz M.N. Inversion of seismic velocities for the Pore Aspect Ratio Spectrum of a Rock. 4. Александров Б.Л. Аномально-высокие пластовые давления в нефтяных бассейнах. - М.: Недра.

Надійшло до редакції 02.12.07.

УДК 620.197.5

В. Лукович, д-р техн. наук

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПОЛЯРИЗАЦІЇ ТРУБОПРОВОДУ

Побудована математична модель розрахунку параметрів системи катодного захисту магістрального трубопроводу в процесі поляризації. В моделі розраховано величини густини струму, поляризаційного потенціалу та поляризаційного опору в долі поверхні труби, яка має безпосередній контакт з електропровідним середовищем. Розрахунки проведено при умові, що величина цієї долі відома. Залежність між градієнтом потенціалу та струмом на межі метал-електроліт визначається за даними поляризаційної кривої.

A mathematical model of calculation of parameters of a cathode protection system of a main pipeline during polarization process is built. In the model, values of current density, polarization potential and polarization resistance in the part of a pipe surface which has direct contact with electroconductive medium, are calculated. The calculations are done under the condition that the value of this part is known. The dependence between the potential gradient and the current at the metal-electrolyte interface is determined using the data from the polarization curve.

Для розрахунку параметрів електрохімічного захисту магістральних трубопроводів використовують величину перехідного опору протикорозійного покриття. Цєю величиною оцінюють не стільки якість матеріалу, з якого виготовлене покриття, скільки величину долі пошкоджень його поверхні. Тому в запропонованій математичній моделі замість величини перехідного опору використано долю площі пошкодження цього покриття, обернена величина якої практично дорівнює величині перехідного опору. Це також деяка середня величина на заданому відрізку. Але з використанням її ми маємо можливість розрахунку густини струму, середня величина якої близька до величини струму в пошкодженні. При цьому виникає також можливість використати дані поляризаційної кривої для визначення величини поляризаційного потенціалу та поляризаційного опору.

При побудові математичної моделі поля системи катодного захисту знехтуємо величиною струму, який проходить з електропровідного середовища на трубу через пошкоджене покриття, тобто, враховуватимемо тільки струм, який проходить на трубу лише через пошкодження в ізоляції. Опір непошкодженого протикорозійного покриття настільки великий, що величина струму, який проходить крізь нього, буде на декілька порядків меншою від того, який проходить через пошкодження. Для спрощення моделі розглядатимемо осесиметричну задачу.

Вибіримо систему координат $Oxyz$ так, щоб площа xOy лежала на поверхні землі, яку вважатимемо плоскою. Площина xOz проходить через вісь труби, а площина yOz проходить через одне з заземлень, які позначимо точками. Вважатимемо ґрунт, протикорозійне покриття та трубу однорідними. Розмістимо катодні перетворювачі з заземленнями вздовж труби на відстані $2L$ один від одного. Допустимо, що доля пошкоджень – величина стала (позначимо її через ϵ_0). З врахуванням симетрії задачі потенціал U в довільній точці шару ґрунту $[-L, L]$ зовні труби задовільняє рівнянню [1]

$$U = \frac{\rho}{2\pi} I_a \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left[(x-x_0+2nL)^2 + (y-y_0)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} - \frac{\rho}{4\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \epsilon_0 \int_{-L}^L J(\xi) \left[(x-\xi+2nL)^2 + y^2 + (z-(-1)^n h)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} d\xi, \quad (1)$$

Обмежившись в (1) значеннями $n = -1, 0, 1$, з достатньою для практики точністю отримаємо:

$$U = \frac{\rho}{2\pi} I_a \sum_{n=-1}^1 \left[(x-x_0+2nL)^2 + (y-y_0)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} - \frac{\rho}{4\pi} \sum_{n=-1}^1 \epsilon_0 \int_{-L}^L J(\xi) \left[(x-\xi+2nL)^2 + y^2 + (z-(-1)^n h)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} d\xi, \quad (2)$$

де ρ – величина питомого опору ґрунту, I_a – величина струму заземлення, координати якого $x_0, y_0, z_0=0$ (глибиною розміщення аноду нехтуємо), $J(x)$ – густина струму трубопроводу, координати осі якого $x=\xi, y=0, z=h$. Зауважимо, що вирази (1) і (2) відрізняються від аналогічних ім в роботі [1] лише множником ϵ_0 , яким виділяється з інтеграла від $-L$ до L лише та доля поверхні труби, яка має безпосередній контакт з навколишнім середовищем. Оскільки більшість пошкоджень мають дуже малі розміри й розміщені по всій поверхні труби, то розрахунки, проведені за допомогою виразів (1) і (2), мало відрізняються від аналогічних їм, але отриманих з виразів, які описують реальну картину поля.

На зовнішній поверхні труби (на межі між трубою та навколишнім середовищем) вираз (2) матиме вигляд

$$U_a = \frac{\rho}{2\pi} I_a \sum_{n=-1}^1 \left[(x-x_0+2nL)^2 + y_0^2 \right]^{-\frac{1}{2}} - \frac{\rho}{4\pi} \sum_{n=-1}^1 \epsilon_0 \int_{-L}^L J(\eta) \left[(x-\eta+2nL)^2 + 4h^2 \right]^{-\frac{1}{2}} d\eta, \quad (3)$$

де

$$W_1 = \begin{cases} a, & l=0; \\ 2h, & l=1, \end{cases}$$

a – радіус труби.

На поверхні труби потенціал U_T визначається з рівняння [1]