

Наука — виробництву

УДК 550. 832:622

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОГЕННИХ ДЖЕРЕЛ ТЕМПЕРАТУРИ ПРІ КОНТРОЛІ ЗА ЕФЕКТИВНІСТЮ РОЗКРИТТЯ ПЛАСТІВ НАФТОГАЗОВИХ РОДОВИЩ

В.А.Старостін, В.Й.Проконів, Д.Д.Федоришин, В.В.Гладун, А.В.Старостін

¹ ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15,
тел. (03422) 42056, e-mail: public@ifdtung.if.ua

² ВАТ "Укрнафта", 01000, м. Київ, Кудрявський узвіз, 5,
тел. (044) 2125861

³ ДП "Полтавське управління геофізичних робіт", 36000, м. Полтава, вул. Заводська, 16,
тел. (05322) 33060

Исследование эффективности вскрытия пласта при проведении перфорационных работ имеет актуальное значение. Это связано с техническими и экономическими аспектами проблемы. Испытание продуктивных пластов — очень сложная и многооперационная технологическая процедура, эффективность проведения которой зависит от фильтрационно-емкостных свойств пород, упругих свойств приквасинной зоны технологии проведения перфорационных работ и др. Учитывая многофакторность процесса испытания, перед геофизиками стоит задача исследования эффективности проведения геофизических работ и причин отсутствия притока флюида после проведения перфорационных работ.

В статье рассмотрена возможность использования динамических характеристик тепловых аномалий техногенного происхождения для исследования эффективности вскрытия пласта перфорацией. Особенно важным является исследование продуктивных отложений, представленных коллекторами сложного строения. Методика позволит определиться по важному вопросу: причины отсутствия притока флюида из интервала испытания.

Підвищення видобутку нафти і газу в Україні пов'язане з необхідністю проведення пошуково-дослідних робіт на нових продуктивних горизонтах, представлених, як правило, гірськими породами зі складною будовою. Породи колектори складної будови характеризуються значною невизначеністю геолого-геофізичних параметрів та їх взаємозв'язків, що призводить до зниження ефективності використання геофізичної інформації. Оцінка ефективності геофізичних досліджень визначається за ре-

The study of effectiveness of formation exposing during the holding of the perforating operations is an actual problem. It's connected with the technical and economical aspects of a problem. The testing of productive stratas is a very composite and multioperating technological procedure, effectiveness of its holding depends on filtration-capacitive properties of begs, elastic properties around of well, technology of borehole perforation etc. Considering the multifactor aspects of testing process, there is a research problem for the geophysicists - the research of effectiveness of the geophysical operations and reasons of fluid inflow absence after implementation of punched operations.

There is showing the possibility of using the dynamic characteristics of calorific anomalies of technogenic genesis conformably to the study of effectiveness of formation exposing by a perforation. Especially important in the using of this method is the study of productive deposits of composite constitution. The application method will allow to decide the important problem — to found the reason of fluid inflow absence from a spacing of trial.

зультатами випробувань рекомендованих продуктивних пластів.

Випробування продуктивних відкладів — дуже складна і багатоопераційна технологічна процедура, ефективність проведення якої залежить від фільтраційно-ємнісних властивостей порід, пружних властивостей присвердловинної зони, технологій проведення перфорацийних робіт та ін. Враховуючи багатофакторність процесу випробувань, перед геофизиками ставиться завдання підвищення ефективності проведення геофізичних досліджень і виявлення

причин відсутності притоку флюїду після проведення перфораційних робіт.

Наша робота спрямована на вивчення можливостей використання техногенних теплових аномалій для контролю за ефективністю розкриття пласта шляхом перфорації колони. Параметри утворених температурних аномалій і динамічні характеристики їх існування дають додаткову інформацію щодо характеристик розкритого продуктивного пласта.

Дослідженню параметрів техногенних аномалій температури, які виникають внаслідок процесу перфорації приділяється увага в роботах [1, 2]. Зроблені перші спроби використання методу термометрії для спостереження процесу розкриття пласта, але недостатньо досліджені методичні аспекти проблеми та фактори, що впливають на утворення теплового поля техногенного походження.

Сучасна геофізична апаратура дає змогу проводити високоточні виміри температури, які активно використовуються при вирішенні питань моніторингу розробки нафтогазових родовищ [3]. Дослідження техногенних температурних аномалій високоточною термометрією розширить можливості контролю процесу розкриття пласта.

Теплові поля, що утворюються внаслідок проведення вибухових робіт у свердловинах, за природою утворення можна поділити на дві групи. До першої групи слід віднести поля, які утворені при проведенні робіт, пов'язаних з процесом інтенсифікації видобутку. В цьому випадку мається на увазі вплив на фільтр і присвердловинну зону ефектів вибухів і імпульсних процесів, утворених у результаті використання фугасного торпедування та дії енергії порохівих газів. Теплові поля другої групи утворюються внаслідок проведення перфораційних робіт кумулятивними перфораторами. В процесі утворення отворів у колоні, цементному кільці та породі виникають складні процеси перерозподілу напруженості і накопичення внутрішньої енергії. Енергія процесу характеризується теплою, що виділяється при перетворенні початкової речовини в продукти реакції.

Процесу утворення вибухової хвилі та факторів, зумовлених технологією проведення вибухових робіт, присвячено чимало наукових праць [4, 5], а питанню утворення теплових аномалій, зумовлених зоною з розігрітими і стисненими продуктами детонації, приділено дуже мало уваги.

При вибуху виникають швидкі фізичні і хімічні процеси перетворення речовини, внаслідок чого енергія процесу перетворюється на роботу стиснення, або руху самого середовища. Вибух характеризується кількістю енергії, яка виділяється в процесі протікання реакції перетворення. В практиці промислово-геофізичних робіт використовують хімічні екзотермічні реакції, при яких потенціальна енергія вибухової речовини швидко переходить в енергію руйнування гірської породи для утворення перфораційних отворів і виділення газів.

Згідно з першим законом термодинаміки процес перетворення енергії екзотермічної реакції вибуху описується рівнянням

$$dQ = dE + dA, \quad (1)$$

де: dQ – частина тепла, яка перетворюється до рівня внутрішньої енергії речовини навколосвердловинного простору;

dA – друга частина тепла, яка перетворюється в роботу з руйнування колони, цементу і породи.

Роботу, яка спрямована на подолання зовнішнього тиску p при тепловому розширенні середовища, можна записати pdV . Але в процесі вибуху в присвердловинному просторі тепло здійснює роботу з руйнування породи, фазового перетворення, створення напружено-деформованого стану і тому подібне. Загалом роботу будемо представляти виразом

$$dA = \sum_{i=1}^N K_i d\beta_i, \quad (2)$$

де: K_i – узагальнена сила;

β_i – геометричний параметр середовища.

Виходячи з розглянутого, теплова аномалія, що утворюється в процесі перетворення вибухової речовини, зумовлена величиною dE . Для збільшення ефективності роботи вибухової речовини необхідно, щоб величина $dE \Rightarrow 0$, і тоді розмір отворів перфорації буде максимальним. Ця гранична умова можлива тільки за протікання хімічної реакції при вибуху з адіабатичним ефектом. Практично ці умови виконати можливо тільки за ідеальної теплоізоляції або великої швидкості протікання процесу. Тепловий опір колони, породи, цементу, рідини в колоні вказує на швидке протікання теплообмінного процесу, що зводить до нуля можливості існування першої умови, тобто $dE \neq 0$. Таким чином, основним фактором, який визначає параметри аномалії теплового поля, буде час протікання хімічного процесу при вибуху.

Розглянута особливість утворення теплових аномалій при протіканні процесу вибуху вказує на те, що аномалії поля першої групи будуть мати значну інтенсивність і, як вказано в роботі [5], можуть досягати 30°C . Аномалії теплового поля, утворені внаслідок дії кумулятивних перфораторів, характеризуються меншою амплітудою завдяки більшій швидкості протікання процесу.

Для підтвердження характеристики теплового фактора дії вибухової рідини використаємо експериментальні дослідження, наведені в роботі [5]. Встановлено, що підвищення температури в інтервалі перфорації впливає не тільки на фізико-механічні характеристики порід присвердловинної зони, але й на глибину утвореного перфораційного каналу. Так, проведені перфораційні роботи при температурі 250°C вказують на збільшення глибини перфораційних отворів порівняно з аналогічними умовами, але при 20°C . Збільшення значень температури в зоні проведення перфорації зменшують фак-

тор віддачі тепла на теплообмін і збільшують частину енергії на руйнування породи.

Розглянемо детальніше характеристику імпульсного джерела теплового поля. Розподіл температури в свердловині описується змінними x, y, z і $\tau, T(x, y, z, \tau)$. Якщо в свердловинному просторі представити $d\sigma$ — обмежену площину в точці $P(\xi, \eta, \zeta)$ з нормаллю n , то кількість тепла, утвореного вибухом, яке протікає через $d\sigma$ в одиницю часу, згідно з законом Фур'є буде дорівнювати

$$W_n dy = -k \frac{\partial T}{\partial n} dy, \quad (3)$$

де: k – коефіцієнт теплопровідності;
 $T(x, y, z, \tau)$ – температура;
 $\partial T / \partial n$ – похідна в напрямі нормалі n до $d\sigma$.

Для переходу до рівняння теплопровідності в просторі розглянемо об'єм середовища V , який обмежений поверхнею S . Рівняння балансу тепла в об'ємі V за час $\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1$ буде мати такий вигляд:

$$\begin{aligned} & \iiint_V c\rho [T(P, \tau_2) - T(P, \tau_1)] dV_p = \\ & - \int_{\tau_1}^{\tau_2} d\tau \iint_S W_n d\sigma + \int_{\tau_1}^{\tau_2} d\tau (\iiint_V F(P, \tau) dV)_p, \end{aligned} \quad (4)$$

де: $P = P(\xi, \eta, \zeta)$ – точка інтегрування;
 $dV_p = d\xi d\eta d\zeta$;
 $d\xi$ – елемент об'єму;
 $c\rho$ – теплоємність одиниці об'єму.

Представлене рівняння характеризує закон динаміки тепла в об'ємі V , обмеженого граничною поверхнею за інтервал часу $\Delta\tau$.

Для переходу від інтегрального рівняння балансу до диференціального припустимо, що $T(M, \tau) = T(x, y, z, \tau)$ двічі диференційована за x, y, z і один раз за τ , а також вони неперервні в області V . Використовуючи формулу Остроградського і замінюючи $W = -k \text{grad } T$, отримаємо диференціальне рівняння теплопровідності

$$c\rho T_\tau = \text{div}(k \text{grad } T) + F, \quad (5)$$

де F – неперервна функція аргументів P, τ .

Для спрощення дослідження динамічних характеристик джерела температури, утвореного внаслідок вибуху, розглянемо однорідне середовище, для якого

$$T_\tau = a^2 (T_{xx} + T_{yy} + T_{zz}) + \frac{F}{c\rho}, \quad (6)$$

де $a^2 = k / c\rho$ – коефіцієнт температуропроводності.

Для розв'язання нашої задачі необхідно визначитися з існуванням єдиного рішення. Єдність рішення рівняння (5) можливо отримати тільки при введених початкових і граничних умов задачі.

Задача з початковими і граничними умовами збільшує достовірність отримання рішення,

але при вирішенні практичних задач необхідно визначитися з існуванням рішення і неперервністю залежності рішення від додаткових умов.

Виберемо випадок, коли умови визначаються неперервністю функції температури і теплового потоку для випадку $\tau > 0$, тобто процес детонацій закінчився

$$T(x_i - 0, \tau) = T(x_i + 0, \tau), \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & k(x_i - 0) \frac{\partial T}{\partial x}(x_i - 0, \tau) = \\ & = k(x_i + 0, \tau) \frac{\partial T}{\partial x}(x_i + 0, \tau). \end{aligned} \quad (8)$$

Визначимося з граничними умовами існування рішення. Розглянемо процес теплопровідності в експлуатаційній колоні, розмір якої дорівнює $l = nl_n$, де: l_n – інтервал перфорації; $n = 4 \div 8$ – коефіцієнт. На початку протікання хімічного процесу вибуху температурний режим на границі області і в інтервалі перфорації визначається початковим розподілом температури. Для спрощення отримання розв'язку рівняння джерело теплової енергії сприймається як точкове. В цьому випадку точне врахування довжини колони не має значення, оскільки зміна довжини l не створить суттєвого впливу на температуру в інтервалі перфорації. За умови одного інтервалу перфорації можна припустити $l \rightarrow \infty$. Величина впливу може знаходитись в межах $\pm \varepsilon$ похибки вимірювального приладу. В цьому випадку поставимо задачу з початковими умовами розподілу температури на нескінченному відрізку, тобто знайдемо рішення рівняння теплопровідності в області $-\infty < x < \infty$ і $\tau \geq \tau_0$, яке задовольняє умові

$$T(x, \tau_0) = \varphi(x) \quad -\infty < x < \infty, \quad (9)$$

де $\varphi(x)$ – задана функція розподілу температури при граничних умовах

$$\left. \begin{aligned} & T(0, \tau) = \mu_1(\tau) \\ & T(l, \tau) = \mu_2(\tau) \end{aligned} \right\} (\tau \geq 0). \quad (10)$$

Для прийнятого випадку характеристики точкового джерела температури в роботі [7] доказана можливість отримання єдиного рішення.

При розгляданні задачі переносу тепла в колоні не тільки за рахунок теплообміну, але й за рахунок руху пластового флюїду і процесу конвекції задача буде мати декілька рішень. Для знаходження оптимального рішення нами використовуються додаткові граничні умови.

Для практичного розв'язку задачі, як було вказано, важливим є наявність того факту, що незначні зміни початкових і граничних умов не впливають суттєво на розв'язок задачі, тоді вважається, що розв'язок має стійкість. Дійсно, якщо процес розподілу тепла фізично визначається своїми початковими і граничними умова-

ми, то невеликі зміни умов, а також похибок виміру мало впливають на саме рішення [7].

Визначившись з початковими і граничними умовами (9) (10) і використовуючи метод відокремлення змінної для розв'язку рівняння на відрізьку l , отримуємо функцію

$$T(x, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} C_n e^{-\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 a^2 \tau} \sin \frac{\pi n}{l} x, \quad (11)$$

де C_n – коефіцієнти Фур'є функції $\varphi(x)$, і при розкладанні в ряд за синусами в інтервалі $(0, l)$ отримуємо

$$C_n = \varphi = \frac{2}{l} \int_0^l \varphi(\xi) \sin \frac{\pi n}{l} \xi \cdot d\xi. \quad (12)$$

Перетворимо рівняння (11) шляхом заміни C_n їх значеннями і отримуємо

$$T(x, \tau) = \int_0^l \left[\frac{2}{l} \sum_{n=1}^{\infty} e^{-\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 a^2 \tau} \sin \frac{\pi n}{l} x \cdot \sin \frac{\pi n}{l} \xi \right] \varphi(\xi) d\xi. \quad (13)$$

Ряд в дужках збігається рівномірно за ξ при $\tau > 0$.

Зазначимо, що

$$G(x, 0, \tau) = \frac{2}{l} \sum_{n=1}^{\infty} e^{-\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 a^2 \tau} \sin \frac{\pi n}{l} x \cdot \sin \frac{\pi n}{l} \xi \quad (14)$$

і представимо функцію $T(x, \tau)$ у вигляді

$$T(x, \tau) = \int_0^l G(x, \xi, \tau) \varphi(\xi) d\xi. \quad (15)$$

В отриманому рівнянні $G(x, \xi, \tau)$ є функцією температурного впливу миттєвого точкового джерела тепла, якою можна описати термодинамічний процес вибуху і визначити розподіл температури в свердловині в межах інтервалу $0 \leq x \leq l$ в момент часу τ після проведення перфорації. Треба зауважити, що система координат спрямована так, що вісь x проходить по центру колони.

Враховуючи те, що умовою розв'язку задачі закладено при $\tau = 0$ температура на відрізьку l також рівна нулю і в цей момент часу миттєво виділяється певна кількість тепла, а на кінцях підтримується нульова температура, то для розрахунків використовуються різниця значень фонового і виміряної температури.

Розглянемо функцію (15). Зміна температури $\varphi_\varepsilon(\xi)$, яка виникає при виділенні біля точки, буде за межами інтервалу $(\xi - \varepsilon, \xi + \varepsilon)$ дорівнювати умовному нулю, а в межах інтервалу $\varphi_\varepsilon(\xi)$ її можна вважати додатною, неперервною, і функція, що диференціюється,

$$cc \int_{o-e}^{o+e} \varphi_\varepsilon(\xi) d\xi = W_n. \quad (16)$$

Кількість тепла, яке викликало зміну температури на величину $\varphi_\varepsilon(\xi)$, визначається з характеристик і параметрів вибухової речовини. Визначивши хімічний склад вибухової речовини і теплоту утворення вихідної речовини та продуктів реакції, можна розрахувати теплоту процесу, використовуючи відомий закон Гесса, який встановлює співвідношення теплової аномалії від початкового і кінцевого станів речовини. Таким чином, процес поширення температури визначається рівнянням

$$T_\varepsilon(x, \tau) = \int_0^l G(x, \xi, \tau) \varphi_\varepsilon(\xi) d\xi. \quad (17)$$

Виконаємо граничний перехід при $\varepsilon \rightarrow 0$. Беручи до уваги неперервність функції G при $\tau \rightarrow 0$, рівняння (16) і теорему середнього значення при фіксованих значення x, τ , отримаємо

$$T_\varepsilon(x, \tau) = G(x, \xi^*, \tau) \int_{\xi-\varepsilon}^{\xi+\varepsilon} \varphi_\varepsilon(\xi) d\xi = G(x, \xi^*, \tau) \frac{W_n}{c\rho}, \quad (18)$$

де ξ^* – середня точка інтервалу $(\xi - \varepsilon, \xi + \varepsilon)$.

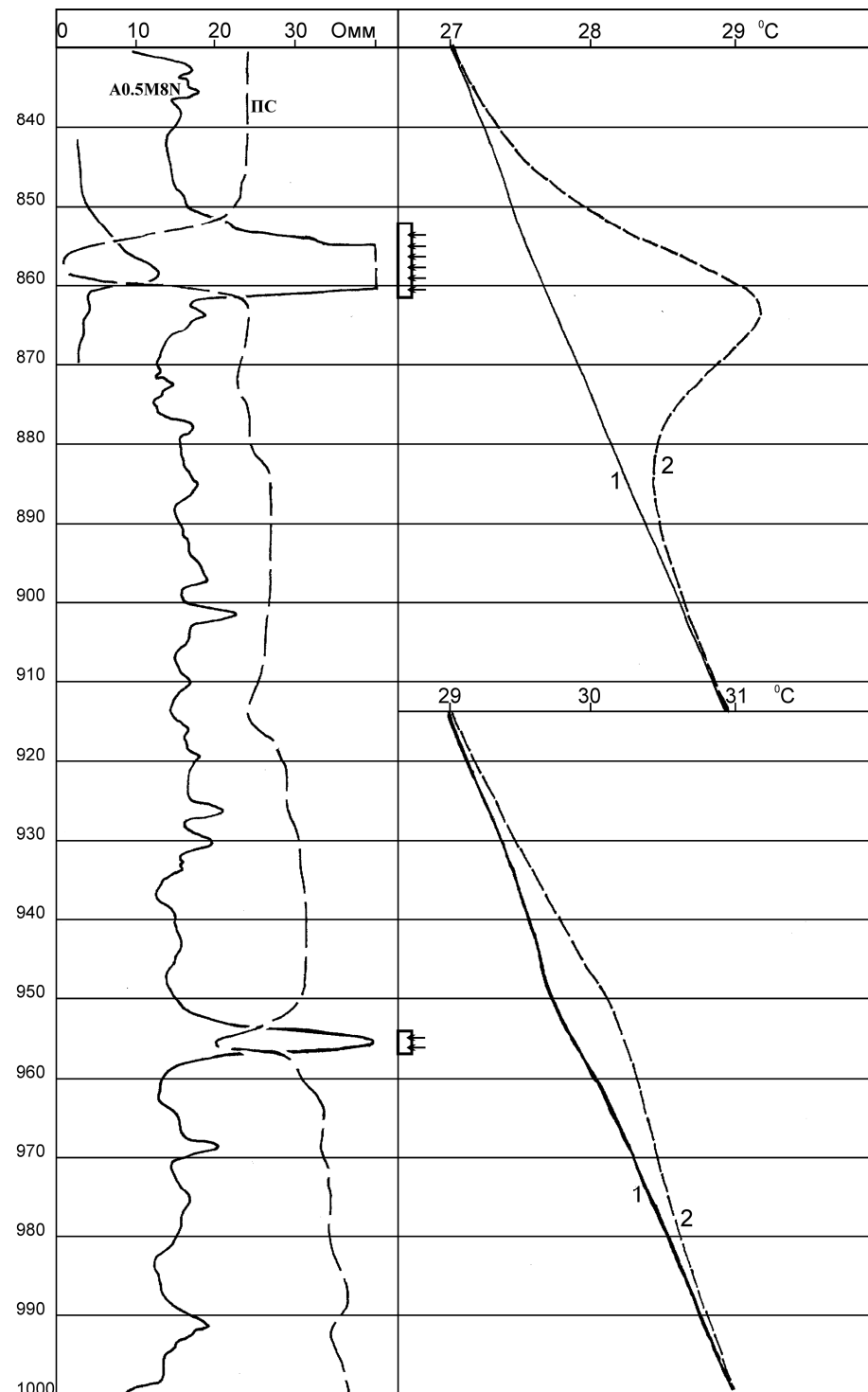
З рівняння виходить, що $G(x, \xi, \tau)$ являє собою температуру точки x в момент τ , яка виникла при дії миттєвого точкового джерела потужністю $W_m = c\rho$, розташованого в момент $\tau = 0$ в точці ξ з границями $(0, l)$. Отримане рівняння використовується при розрахунках прямої задачі розподілу температури на час проведення вимірів термокаротажем і дає змогу прогнозувати процес протікання теплообміну.

Розрахунки теплової аномалії, враховуючи теплопровідність металеві колони, цементу і породи, вказують на симетричність її форми відносно інтервалу перфорації на початковій стадії теплообміну. В роботі [6] наведені матеріали з дослідження теплового поля, яке виникло після проведення перфораційних робіт. Зафіксована аномалія температури до перфорації і після неї через годину вказує на симетричний характер кривої за умови відсутності руху рідини у свердловині. Таким чином, підтверджуються проведені розрахунки. На перших стадіях теплообміну аномалія значно розширюється по інтервалу l відносно місця прикладення вибухової дії, а з часом зменшення амплітудного значення температури буде непропорційне збільшенню розмірів зони аномалії. Цей факт пояснюється значною різницею теплопровідності металеві колони і породи.

Крім розглянутих факторів, на динаміку утвореної температурної аномалії впливають конвекційний вільний перенос тепла в стовбурі свердловини, а також кондукційний перенос за рахунок контакту з флюїдом після розкриття

пласта. Фактор руху флюїду може здійснювати другорядний вплив на форму теплової аномалії, оскільки, якщо існує рух рідини з пласта після перфорації і він значний, то задача оцінки ефективності розкриття пласта переходить в іншу

ловині, заповненій рідиною, за наявності джерела тепла в нижній частині свердловини рідина зі спокою переходить в ламінарний рух і залежно від ΔT набуває різного виду руху. При значних градієнтах нагріта рідина підіймається



1 – до перфорації, 2 – після перфорації

Рисунок 1 — Розподіл температури до і після перфорації

площину задач.

Розглянемо можливості існування і впливу вільної конвекції в стовбурі свердловини на протікання теплообміну. У вертикальній сверд-

по центральній частині колони, а охолоджена опускається по стінках.

Початок конвекційного руху рідини характеризується параметром Релея

$$R = [g\beta / (a_p \nu)] d \text{rad} T (d^2)^4, \quad (19)$$

де: d – діаметр колони;
 g – прискорення вільного падіння;
 ν – кінематична в'язкість;
 α_p і β – температуропровідність і температурний коефіцієнт рідини.

На початок конвекції також впливає співвідношення теплопровідності рідини і колони. Так, наприклад, для необсадженої свердловини відношення цих параметрів змінюється від 2 до 6, а для обсадженої свердловини — до 100. Такі особливості співвідношення вказують на те, що для початку вільної конвекції в експлуатаційних колонах треба створити набагато більший градієнт температур. Розмір і потужність вибухової речовини впливає на існування конвекційного переносу тепла. В роботі [6] вказується, що характеристика теплової аномалії, яка вимірювалася на протязі 3 годин 30 хвилин, з інтервалом часу в 30 хвилин не змінюється за формою, а за амплітудою зменшується пропорційно часу. Цей факт для інтервалу, в якому не отримано притоку флюїду, вказує на відсутність конвекційного потоку тепла, чим підтверджується умова впливу співвідношення теплопровідності рідини і колони на початок вільної конвекції.

На рис. 1 наведені результати термометричних досліджень в свердловині 28 Карпатського регіону, які проводились після перфораційних робіт з метою перевірки спрацювання перфораторів. В свердловині після перфорації отримано незначний приток флюїду.

Проведемо аналіз температурної кривої з метою визначення пластів, які почали працювати після проведення перфорації. Форма аномалії характеризується асиметричністю. Верхня її частина має менший температурний градієнт, що, на нашу думку, пов'язано з незначним рухом газорідинної системи, яка утворилась в процесі перфорації. Екстремальне значення першої аномалії розташоване нижче інтервалу перфорації, а другої — вище. Пересування екстремального значення в напрямку устя свердловини для другої аномалії підтверджує вертикальний рух рідини. Розширення розмірів аномалії в верхню і нижню частини температурної кривої майже пропорційне. Така характеристика вказує на перевагу при формуванні теплової аномалії ефекту теплопровідності колони порівняно з ефектом руху флюїду у свердловині.

Розрахунки величини теплової енергії, що виділяється при перфорації колони першого і другого інтервалів, вказують на те, що в першому інтервалі тепла енергія, що виділяється, більша приблизно від енергії в другому інтервалі в три рази. Порівняння величини числового інтегрування теплової аномалії першого і другого інтервалів вказує на те, що їх співвідношення змінюється. Інтегральна величина другої аномалії зменшилась в чотири рази. Такий факт вказує на те, що протікання теплообміну для другої температурної аномалії здійснюється не тільки за рахунок теплопровідності

колони та породи, але й за рахунок кондукції теплової енергії в пласт через перфораційні отвори. Положення екстремального значення аномалії першого інтервалу знаходиться нижче інтервалу перфорації навіть при врахуванні невеликого руху рідини у свердловині. Таким чином, інтервал перфорації знаходиться нижче продуктивного пласта. На підтвердження цього факту також свідчить невелика від'ємна температурна аномалія навпроти пласта колектора.

Дослідження характеристик теплових аномалій техногенного походження методом термокаротажу дали підстави зробити висновки:

1) спостереження за динамікою теплової аномалії, що утворилася в процесі перфорації експлуатаційної колони, дадуть змогу визначити ефективність розкриття пластів;

2) наведений алгоритм миттєвого точкового джерела температури можна використовувати для проведення розрахунків розподілу температури в часі після проведення перфорації.

Теоретичне обґрунтування і аналіз результатів досліджень теплових аномалій вказує на реальну можливість використання динамічних характеристик теплового поля для визначення ефективності розкриття пласта перфорацією. Особливо важливим в застосуванні розглянутого напрямку є дослідження продуктивних покладів, які представлені колекторами зі складною будовою. Такі об'єкти не завжди однозначно відображаються в геофізичних полях, що може призвести до невизначеності рекомендацій їх випробування. Методика дає можливість визначитися щодо причин відсутності припливу флюїду з рекомендованого інтервалу.

Література

1. Замахаев В.С., Кончаков В.Н., Антипов М.А. Методическое руководство по геофизическому сопровождению перфорации (проект). – М.: ВНИПИВзрывгеофизика, 1995. – 12 с.
2. Замахаев В.С. К вопросу о геофизическом сопровождении прострелочных работ в скважинах // НТБ: Каротажник. – Изд. АИС, 2000. – Вып. 74. – С.54-61.
3. Старостін В.А. Аналіз застосування теплових перетворювачів для дослідження теплофізичних параметрів в діючих свердловинах // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 1997. – Вип. 34 (Том 1). – С.105-114.
4. Фидляндер Л.Я. Прострелочно-взрывная аппаратура и ее применение в скважинах. – М.: Недра, 1985. – С. 199.
5. Григорян Н.Г. Вскрытие нефтегазовых пластов стреляющими перфораторами. – М.: Недра, 1982. – С.263.
6. Валиуллин Р.А., Шарофутдинов Р.Ф., Сорокань В.Ю., Шилов А.А. Использование искусственных тепловых полей в скважинной термометрии // НТБ: Каротажник. – Изд. АИС, 2002. – Вып. 100. – С.124-137.
7. Рубинштейн Л.И. Температурные поля в нефтяных пластах. – М.: Недра, 1972. – С. 276.