

МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КОМПЛЕКСУ ГЕОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБСАДНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ КОЛОН

А.В. Старостін

Державне підприємство “Полтавське управління геофізичних робіт”
м. Полтава, вул. Заводська, 16, тел. (05322) 33060

Представлен анализ результатов исследования технического состояния обсадных и эксплуатационных колонн методами термометрии и импульсной электромагнитной дефектоскопии. Рассмотрена возможность использования динамических характеристик тепловых аномалий при изучении координат интервала разрыва колонны и показана практическая необходимость комплексирования методов термокаротажа и электромагнитной дефектоскопии для интервалов повреждения колонны. Использование комплекса методов значительно повышает однозначность определения технического состояния колонн.

The analysis of results of the researching of the technical condition of casing and flow columns by the methods of thermometry and impact electromagnetic crack detection is submitted. The possibility of the using of dynamic characteristics of thermal anomalies is considered at analysis coordinates of an interval of breakup the column and practical necessity of complex using the temperature logging and impact electromagnetic crack detection for definition of damage intervals of the column is shown. The using of this complex considerably raises the unambiguity of the definition of technical condition of the columns.

Ефективність розробки і експлуатації нафтогазових родовищ значною мірою залежить від технічного стану експлуатаційних і технічних колон. У більшості випадків, родовища нафти і газу України перебувають на середній і завершальній стадіях експлуатації. За тривалий час експлуатації свердловин виникають порушення металевих колон та насосно-компресорних труб, що призводить до аварійних ситуацій і вилучення свердловин з технологічної схеми розробки. При експлуатації газових родовищ, а особливо газосховищ, можливі екологічні катастрофи.

Розглянуті особливості ушкоджень обсадних і експлуатаційних колон у процесі експлуатації родовищ нафти і газу призводять до виникнення перетоків пластової води у колону і поза колоною, що знижує ефективність видобутку. Виявлення інтервалів перетоку і поступлення води у свердловину є важливим і актуальним завданням контролю за розробкою родовищ.

Недругорядне значення також має контроль технічного стану експлуатаційних і технічних колон на етапі будівництва свердловини [1]. При бурінні металеві колони піддаються сильному зношуванню у місцях різких перегинів навіть при незначних кутах викривлення свердловини. Під впливом високих внутрішніх і зовнішніх тисків гірських порід труби деформуються, що також призводить до аварійних ситуацій. Інтенсивний корозійний вплив як на зовнішні, так і на внутрішні поверхні, призводить до порушення стінок колон. На ушкодження експлуатаційних колон також активно впливає проведення спуско-підйомних операцій бурильного інструменту і геофізичної апаратури. Ширина канавок, протертих у тілі обсадних труб каротажним кабелем, може досягати 12мм і більше. Встановлено, що при спуску бурильного інструменту навіть у вертикальну свердловину має місце затримка доліт у муфтових з'єднаннях. При збільшенні нахилу труба кількість посадок зростає. Основними ознаками порушення колон є: зміна перерізу, зміна товщини, поява тріщин та поривів, поява зон корозії, обрив колони та ін.

Для вирішення його активно використовується метод термометрії, який дає можливість виділяти теплові аномалії, що спричинені поступленням рідини у свердловину, і встановлювати просторові координати джерела теплової енергії. Сучасна геофізична апаратура дає змогу проводити високоточні вимірювання температури, які дозволяють виділяти навіть невеликі обсяги перетікаючої рідини [3].

Використання методу термометрії для визначення технічного стану колони ставить завдання створення штучного теплового поля. Умови створення штучного теплового поля можуть використовуватися різні. У статті розглядаються такі випадки: перший випадок – свердловина промита і перебуває у стані гідростатичної рівноваги; другий випадок – свердловина зупинена і перебуває у гідростатичній рівновазі. Процес утворення аномального теплового поля зумовлений технологічними діями, тобто зниженням або підвищенням рівня рідини у свердловині, що призводить до поступлення рідини за рахунок перепаду тиску.

Джерелами теплової енергії у свердловині можуть бути: градієнт температури пластової води (T_e) і рідини, що знаходиться у свердловині (T_p), а також дросельний ефект, який виникає при фільтрації флюїду у поровому просторі за рахунок спаду тиску на шляху руху води. Процес зміни температури при стаціонарному адіа-

батиному дроселюванню описується відомою теорією Джоуля – Томпсона.

Головним завданням досліджень є визначення координат H_1 , H_2 місця розриву колони за функцією розподілу температури $T(\xi, \tau)$ у свердловині, яка представляє температуру у перетині x в момент часу τ . Тобто, необхідно знайти рівняння і параметри, що задовольняють цій функції.

Процес розповсюдження тепла у свердловинному просторі опишемо залежністю $T(x, y, z, \tau)$, яка є функцією координат x , y , z і τ . Треба зауважити, що система координат спрямована так, що вісь x проходить у центрі колони. Якщо у свердловинному просторі представити $d\sigma$ - обмеженою ділянкою в точці $P(\xi, \eta, \zeta)$ з нормаллю n , то для визначення притоку тепла на ділянку $d\sigma$ за одиницю часу скористаємося диференціальним рівнянням теплопровідності, яке встановлює пропорційність до швидкості зростання температури на цій ділянці і запишемо

$$c\rho T(x, y, z, \tau) = \text{div}(k \text{grad} T) + F, \quad (1)$$

де: c – питома теплоємність; ρ – густина; F – неперервна функція аргументів $P(\xi, \eta, \zeta, \tau)$; $W = -k \text{grad} T$ – вектор густини теплового потоку; k – коефіцієнт теплопровідності.

Для спрощення дослідження динамічних характеристик температури розглянемо однорідне середовище, для якого

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

де $a^2 = k/c\rho$ – коефіцієнт температуропровідності. Для розв'язання нашої задачі необхідно визначитися з існуванням єдиного розв'язку. Єдиність розв'язку рівняння (1) можливо отримати тільки при введених початкових і граничних умов задачі. Задача з початковими і граничними умовами збільшує достовірність отримання розв'язку, але при розв'язанні практичних задач необхідно визначитися з існуванням розв'язку і неперервністю залежності його від додаткових умов.

Виберемо випадок, коли умови визначаються неперервністю функції температури і теплового потоку для випадку $\tau > 0$, процес надходження води закінчився, тобто рівень рідини у свердловині стабілізувався. Для контролю цього процесу періодично проводяться виміри верхнього рівня рідини у свердловині.

Визначимося з граничними умовами існування розв'язку. Розглянемо процес теплопровідності в експлуатаційній колоні у інтервалі, розмір якого дорівнює $l = n(\Delta H)$, де $\Delta H = H_2 - H_1$ – інтервал розриву колони; $n = 8 \div 10$ – коефіцієнт вибирається довільно з врахуванням розмірів можливої зони теплообміну. На початку поступлення води температурний режим на межі області і в інтервалі порушення колони визначається початковим розподілом температури, який обумовлено технологічною процедурою і досліджується шляхом вимірювання нормального фону. Для спрощення отримання

розв'язку рівняння, джерело теплової енергії сприймається як точкове. У цьому випадку точне врахування довжини колони не має значення, оскільки зміна довжини l не створить суттєвого впливу на температуру у інтервалі розриву колони. За умови одного інтервалу розриву можливо припустити $l \rightarrow \infty$. Величина впливу може знаходитись в межах $\pm \varepsilon$ похибки вимірювального приладу. У цьому випадку поставимо задачу з початковими умовами розподілу температури на нескінченному відрізку в області $-\infty < x < \infty$ і $\tau \geq \tau_0$, яке задовольняє умові

$$T(x, \tau_0) = \varphi(x), \quad -\infty < x < \infty, \quad (3)$$

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

$$\left. \begin{aligned} T(0, \tau) &= \mu_1(\tau) \\ T(l, \tau) &= \mu_2(\tau) \end{aligned} \right\} (\tau \geq 0). \quad (4)$$

Для прийнятого випадку характеристики точкового джерела температури в роботі [4] доведена можливість отримання єдиного розв'язку, і тому в статті не акцентується увага на цьому питанні.

Визначившись з початковими і граничними умовами (3), (4) і використовуючи метод відокремлення змінної ($T(x, \tau) = X(x)T(\tau)$, де $X(x)$ – функція тільки змінної x , $T(\tau)$ – функція тільки змінної τ), отримуємо функцію розподілу температури на відрізку l

$$T(x, \tau) = X(x)T(\tau) = \sum_{n=1}^{\infty} C_n e^{-\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 a^2 \tau} \sin \frac{\pi n}{l} x, \quad (5)$$

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

$$C_n = \varphi_n = \frac{2}{l} \int_0^l \varphi(\xi) \sin \frac{\pi n}{l} \xi \cdot d\xi. \quad (6)$$

Перетворимо рівняння (5) шляхом заміни C_n їх значеннями і отримуємо

$$T(x, \tau) = \int_0^l \left[\frac{2}{l} \sum_{n=1}^{\infty} e^{-\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 a^2 \tau} \sin \frac{\pi n}{l} x \cdot \sin \frac{\pi n}{l} \xi \right] \varphi(\xi) d\xi. \quad (7)$$

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

Припустимо, що

$$\frac{2}{l} \sum_{n=1}^{\infty} e^{-\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 a^2 \tau} \sin \frac{\pi n}{l} x \cdot \sin \frac{\pi n}{l} \xi = G(x, \xi, \tau) \quad (8)$$

Тоді $T(x, \tau)$ запишеться у вигляді

$$T(x, \tau) = \int_0^l G(x, \xi, \tau) \varphi(\xi) d\xi. \quad (9)$$

Зазначимо, що $G(x, \xi, \tau)$ є функція температурного впливу точкового джерела тепла, якою можна описати теплову аномалію і визначити розподіл температури в свердловині в межах інтервалу $0 \leq x \leq l$ в момент часу τ після пониження рівня рідини у свердловині. При-

пущення, що джерело є точковим, має практичну відповідність, тобто розміри інтервалу розриву ΔH значно менші за величину l .

Враховуючи те, що умовою розв'язку задачі закладена при $\tau = 0$ температура на відріжку l , то для розрахунків використовується різниця значень фонової і вимірної температури.

Розглянемо функцію (9). Зміна температури $\varphi_\varepsilon(\xi)$, яка виникає біля точки за межами інтервалу $(\xi - \varepsilon, \xi + \varepsilon)$, буде дорівнювати умовному нулю, а в межах інтервалу $\varphi_\varepsilon(\xi)$ її можна вважати додатною, неперервною і функцією, що диференціюється

$$c\rho \int_{\xi-\varepsilon}^{\xi+\varepsilon} \varphi_\varepsilon(\xi) d\xi = W_n. \quad (10)$$

Кількість тепла, яке викликало зміну температури на величину $\varphi_\varepsilon(\xi)$, визначається з характеристик умов і теплофізичних властивостей рідини, що припливає. Таким чином, процес розповсюдження температури визначається рівнянням

$$T_\varepsilon(x, \tau) = \int_0^l G(x, \xi, \tau) \varphi_\varepsilon(\xi) d\xi. \quad (11)$$

Виконаємо граничний перехід при $\varepsilon \rightarrow 0$. Беручи до уваги неперервність функції G при $\tau \rightarrow 0$, рівняння (12) і теорему середнього значення при фіксованих значення x, τ , отримуємо

$$T_\varepsilon(x, \tau) = G(x, \xi^*, \tau) \times \int_{\xi-\varepsilon}^{\xi+\varepsilon} \varphi_\varepsilon(\xi) d\xi = G(x, \xi^*, \tau) \frac{W_n}{c\rho}, \quad (12)$$

де ξ^* — середня точка інтервалу $(\xi - \varepsilon, \xi + \varepsilon)$. З рівняння випливає, що $G(x, \xi, \tau)$ представляє температуру точки x в момент τ , яка виникла при дії точкового джерела потужністю $W_m = c\rho$, розташованого в момент $\tau = 0$ в точці ξ з границями $(0, l)$.

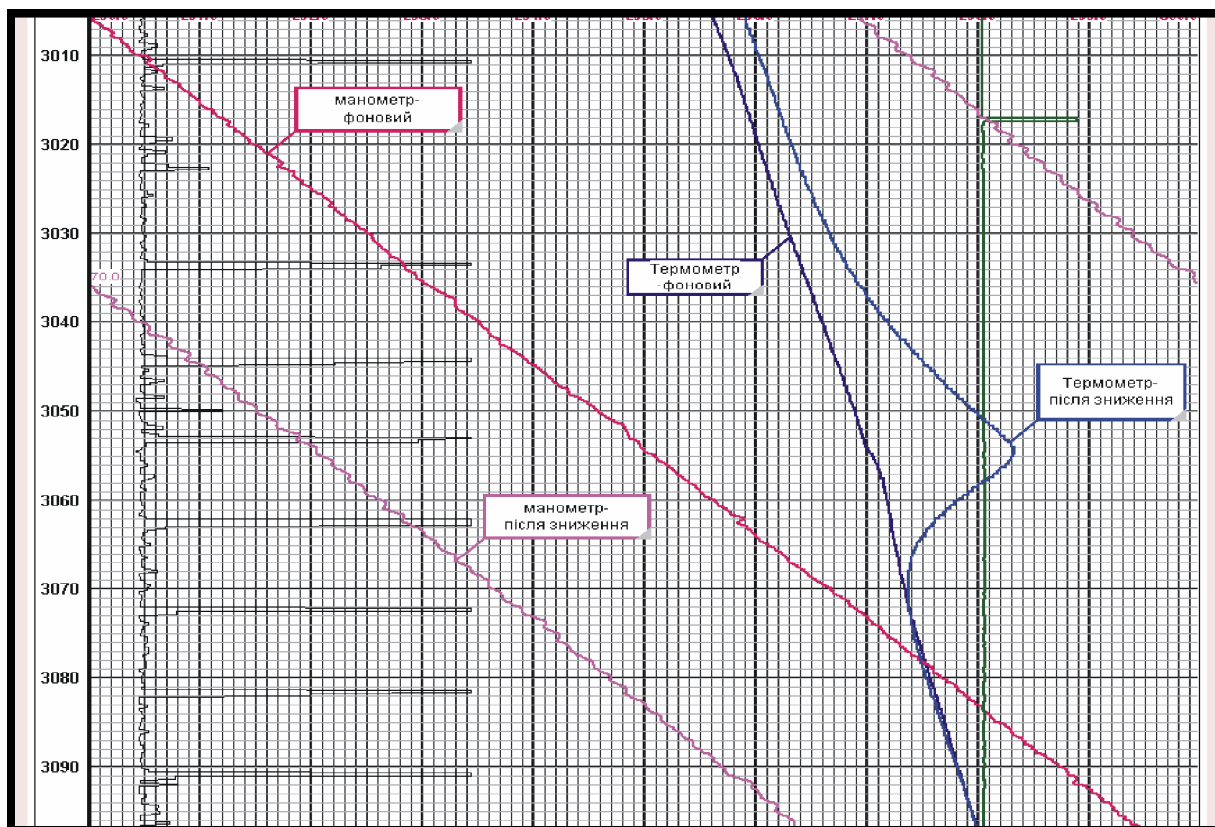
Як було сказано, джерелами теплових аномалій внаслідок поступлення води у свердловину, може бути як градієнт температури, так і дросельний ефект. Розподіл температури буде залежати від технології утворення температурної аномалії. Для першого випадку будуть діяти два джерела теплової енергії у певному співвідношенні, які залежать від об'єму води, градієнта тиску, фільтраційних властивостей пласта-колектора, градієнта температури. Для другого випадку домінуючим ефектом буде ефект дроселювання. Розрахунки вказують, що характеристика співвідношення впливає на достовірність визначення інтервалу розриву. Запропоновано використання точкового джерела і дослідження температурного впливу у динамічному режимі. Тобто розподіл температури (є функцією τ) дає змогу розділяти вплив двох джерел і підвищити достовірність визначення координат H_1, H_2 .

Крім розглянутих факторів, на динаміку утвореної температурної аномалії впливає конвекційний вільний перенос тепла в стовбурі свердловини. Цей фактор спотворює форму теплової аномалії. Співвідношення теплопровідності рідини і колони впливає на початок конвекції. Виходячи з критерію початку вільної конвекції (відомий параметр Релея) у свердловинах, обсаджених сталеву колоною, треба створити значний градієнт температур. Практичні дослідження вказують на відносно невеликій температурній аномалії, і тому вільна конвекція, навіть на пізній стадії поступлення води у свердловину, буде мати другорядне значення.

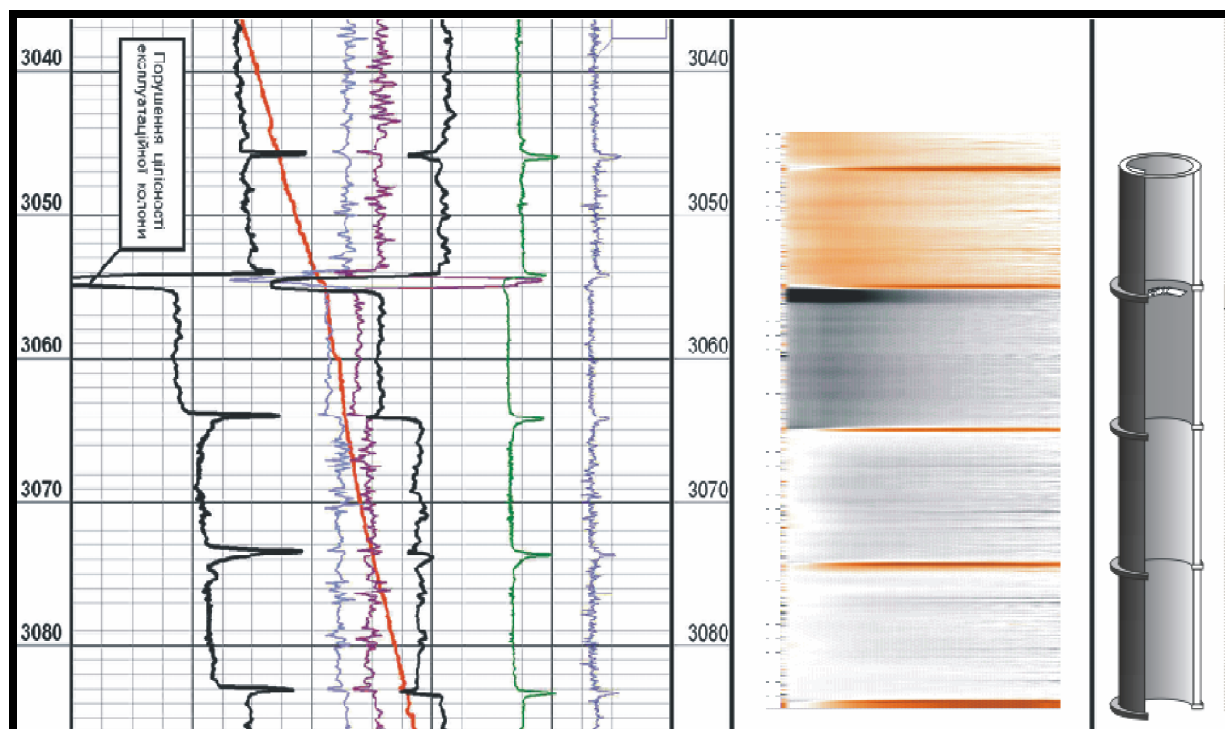
На динаміку переносу тепла у реальній колоні впливають не тільки процеси кондукції і конвекції, але й неоднорідності теплофізичних властивостей гірських порід і будови свердловини, тому задача з пошуку місць поступлення теплового джерела має декілька еквівалентних розв'язків. Для отримання оптимального розв'язку з визначення інтервалу теплового джерела необхідно використати додаткову геофізичну інформацію. В статті рекомендується використовувати результати досліджень методом магнітоімпульсної дефектоскопії як додаткової інформації. Інтервал поступлення води у колону буде підтверджуватися виявленням місця розриву колони.

Магнітоімпульсна дефектоскопія дає змогу вирішувати ряд технічних задач, пов'язаних з визначенням положення муфтових з'єднань експлуатаційних і технічних колон, визначенням інтервалів пошкоджень експлуатаційних колон, інтервалів і ступеня корозійного зносу, товщини стінки і глибини спуску НКТ. На сьогоднішній день чимала увага приділяється впровадженню імпульсної електромагнітної дефектоскопії. Метод базується на дослідженні електрорушійної сили, наведеної в обсаджених колонах після відключення струму намагнічування. Свердловинна апаратура дає змогу реєструвати величину електрорушійної сили в інформаційних каналах у функції часу. Кожен канал має певний часовий інтервал, в якому реєструється величина електрорушійної сили.

Обробка геофізичної інформації проводиться двома шляхами: оперативна і кількісна, на основі розрахунків, за спеціальними автоматизованими алгоритмами обробки. Інтерпретація починається з прив'язки до глибини конструктивних елементів свердловини: пакерів, клапанів, башмака колони, інтервалів перфорації. Характеристика зміни аномалій поля визначається величиною товщини колони, електропровідності і магнітної проникності матеріалу, з якого вона виготовлена. Чим більший добуток цих параметрів, тим повільніше згасають вихрові струми. До швидкого згасання поля призводить розгалуження тріщин, які утворилися при перфорації або при інших силових впливах на колону. Крім відносних параметрів зміни аномалій, використовуються характеристики форм аномалій. Дослідження форм і амплітуд аномалій нами проводяться на свердловинах, для яких відомі конструктивні параметри колон



а



б

а) – результати дослідження свердловини методами термометрії і манометрії;
 б) – результати дослідження методом магнітоімпульсної дефектоскопії

Рисунок 1 — Приклад визначення місця припливу пластової води у свердловину

і підтвержені іншими геофізичними методами, наприклад, мікрокавернометрія. Використання принципу моделювання для методів електромагнітної дефектоскопії є теоретично обґрунтованим шляхом. Результати вимірів позірних значень електромагнітних властивостей максимально наближені до дійсних, що зумовлено відсутністю впливу свердловинних умов і навколишнього простору.

Розглянемо приклад визначення місця припливу пластової води в свердловину за даними термометрії і магнітоімпульсної дефектоскопії. На рис. 1, а представлена геофізична інформація, результати якої використані для визначення координат розриву колони. За технологічною схемою досліджень свердловина перебуває в стані спокою 4 доби для стабілізації теплообмінних процесів. Після цього в свердловині проведено дослідження фонових значень температури і тиску. Виконавши виміри фонових значень, проведено операції зниження рівня рідини у свердловині, що викликає приплив води з можливого місця негерметичності колони. Для визначення характеристик припливу води проведено повторні вимірювання і визначено теплові аномалії, які виділяються на фонових замірах. За результатами розрахунків функції розподілу температури з глибиною встановлено координати інтервалу припливу пластової води – 3053-3056 м. Нижче глибини 3068 м температура в свердловині при різних режимах стану свердловини співпадає і підтверджує висновок про негерметичність колони та відсутність руху води по стовбуру свердловини

з вибою. На рис. 1, б представлені результати вимірювань методом магнітоімпульсної дефектоскопії, де підтверджено наявність порушення колони на глибині 3054,3-3055 м за характером зменшення сигналу електромагнітного поля до мінімуму. Для зручності сприйняття результатів інтерпретації нами розроблена програма візуалізації інтервалів розриву колони, яка представлена на рисунку.

В статті показана практична можливість вивчення технічного стану обсадних та експлуатаційних колон комплексом геофізичних методів термометрії і магнітоімпульсної дефектоскопії. Доцільність використання комплексу обумовлена економічним чинником і можливістю підвищення достовірності прийнятого рішення з вивчення інтервалів розриву колони.

Література

1. Спутник нефтегазопромыслового геолога: Справочник / Под ред. И.П.Чоловского. – М.: Недра, 1989. – С. 376.
2. Вахитов Г.Г., Гаттенбергер Ю.П., Лутков В.А. Геотермические методы контроля за разработкой нефтяных месторождений. – М.: Недра, 1984. – С. 240.
3. Старостин В.А. Анализ застосування теплових перетворювачів для дослідження теплофізичних параметрів в діючих свердловинах // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 1997. – Вип. 34 (Том 1). – С.105–114.
4. Рубинштейн Л.И. Температурные поля в нефтяных пластах. – М.: Недра, 1972. – С. 276.

УДК 553.98(477.8)

КОМПЛЕКСНА МЕТОДИКА МОНІТОРИНГУ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ПІДЗЕМНИХ СХОВИЩ ГАЗУ ЗАХІДНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ

В.Г.Осадчий, І.І.Грицик, О.А.Приходько, П.Г.Дригулич

*ІГТГК НАН України, 79053, Львів, вул. Наукова, 3а,
e-mail: igggk@ah.ipm.lviv.ua*

Обоснована комплексная методика мониторинга подземных хранилищ газа (ПХГ) с применением полевой геотермической съемки для определения герметичности скважин и проводимости разрывных нарушений на территории ПХГ с последующим проведением в зонах аномальных температур геохимических исследований для оконтуривания участков повышенной загазованности. Приведены результаты исследований на ПХГ в Западном регионе Украины.

Complex methods of monitoring of underground gas storages (UGS) were substantiated using the field geothermic surveying for the determination of hermeticity of boreholes and conductivity of dislocations with a break of continuity in the territory of UGS with further carrying out of geochemical studies in zones of anomalous temperatures for contouring areas of increased gas pollution. The results of investigations in UGS of the Western region of the Ukraine are cited here.

Інтенсивне видобування горючих корисних копалин в останній час охопило техногенним впливом не тільки поверхню Землі, але й ґрунти та ґрунтові води. Наслідки їх переробки і використання у теплоенергетиці, транспорті, промисловості і т. д. носять не тільки позитивний,

але й негативний, а іноді і катастрофічний для людства характер. Вплив на навколишнє середовище проявляється у створенні екстремальних ситуацій, погіршенні умов безпеки життєдіяльності людини, виникненні аварій та катастроф. Екологічні зміни довкілля при пошуках,