

УДК 550.832

## ДІАГНОСТИКА ОБСАДНИХ КОЛОН ТА НАСОСНО-КОМПРЕСОРНИХ ТРУБ ЗА ДАНИМИ ГЕОФІЗИЧНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ СВЕРДЛОВИН

Д.Д. Федоришин<sup>1)</sup>, В.А. Старостін<sup>1)</sup>, А.В. Старостін<sup>2)</sup>, С.Д. Федоришин<sup>1)</sup>

1)–Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул.Карпатська, 15, м.Івано-Франківськ, 76019, тел.: (03422) 4-20-56, e-mail: geophys@nung.edu.ua

2)–Державне підприємство “Полтавське управління геофізичних робіт” вул.Заводська,16, м.Полтава, 36007, тел.: (053222)3-30-60, e-mail: starostin@ugr.poltava.ua

*Практичне використання результатів електромагнітної дефектоскопії дало можливість висвітлити чинники, що ускладнюють дослідження технічного стану металевих колон. Обґрунтовано і практично показано причини ускладнення процесу технічного контролю колон. Наведено методологію еталонування свердловинної апаратури електромагнітної дефектоскопії, яка є основою щодо достовірності отриманих результатів геофізичних досліджень експлуатаційних свердловин.*

*Ключові слова: технічний стан металевих колон, електромагнітна дефектоскопія, еталонування, метрологія.*

*Практическое использование результатов электромагнитной дефектоскопии дает возможность раскрыть показатели, которые усложняют исследование технического состояния металлической колонны. Обосновано и практически показано причины усложнения процесса технического контроля колонн. Приведена методология эталонирования скважинной аппаратуры электромагнитной дефектоскопии, которая является основой достоверности полученных результатов геофизических исследований эксплуатационных скважин.*

*Ключевые слова: техническое состояние металлических колонн, электромагнитная дефектоскопия, эталонирование, метрология.*

*Practical use of the results of electromagnetic flaw detection allowed to shows the factors that embarrass the study of the technical character of metal columns. Grounded and practically show the cause of complicated technological process of columns control. Presented a methodology for benchmarking borehole electromagnetic flaw detection equipment, which is the basis of the received of the results of geophysical research wells.*

*Keywords: the technical character of metal columns, electromagnetic flaw detection, benchmarking, metrology.*

У теперішній час основні проблеми з енергозабезпеченням пов'язані із зниженням геолого-пошукових робіт на території України та зменшенням видобутку вуглеводнів із свердловин нафтогазових родовищ, що викликано зменшенням фонду діючих свердловин за рахунок вилучення їх із технологічної схеми розробки покладів для проведення капітального ремонту.

Ефективність експлуатації нафтогазових родовищ у значній мірі залежить від технічного стану експлуатаційних і технічних колон. У більшості випадків родовища нафти і газу України знаходяться на середній і завершальній стадії експлуатації. За тривалий час

експлуатації свердловин виникають порушення металевих колон та насосно-компресорних труб, що приводить до аварійних ситуацій.

Дослідження технічного стану обсадної та експлуатаційних колон поділяється на два етапи: встановлення закритих дефектів металевих колон на етапі спуску їх у свердловину і встановлення дефектів та пошкоджень колон у процесі буріння та експлуатації нафтогазових родовищ.

Встановлення закритих дефектів визначається у процесі виготовлення обсадних колон на трубопрокатних заводах та контролюється при виконанні технологічних операцій спуску колон. У цьому випадку

можуть мати місце поверхневі розшарування стінки труби, а також наявність утворених наскрізних поздовжніх тріщин і інших дефектів (довжиною до 50 мм). Виявлення таких дефектів на підприємствах нафтогазової галузі на сьогодні не здійснюється із-за відсутності високочутливих дефектоскопів.

Другий етап діагностики стану обсадних колон і муфтових з'єднань передбачає першочергові задачі контролю технічного стану закріплення свердловин, а саме:

- визначення параметру обсадних труб, їх мінімального, максимального, середнього внутрішніх діаметрів, овальності і прохідного переріз труб;

- виявлення ділянок пошкоджень обсадних колон та встановлення величини зношення проміжних обсадних колон елементами бурової колони;

- виявлення ділянок пошкоджень внутрішньої поверхні труби породоріжучим інструментом;

- виявлення пошкоджень обсадних колон внаслідок дії надлишкового тиску (розриви і тріщини обсадних труб різного типу: поздовжні, поперечні під кутом до осі свердловини);

- виявлення негерметичності муфтових з'єднань та інших місць негерметичності обсадної труби.

Вирішення вищенаведених задач здійснюється за допомогою електромагнітних дефектоскопів.

В даний час розроблені цифрові магніто-імпульсні дефектоскопи-товщиноміри типу ЕМДС-ТМ-42 та МІД-К, які характеризуються підвищеною чутливістю за рахунок використання імпульсного принципу дослідження електромагнітних властивостей металевих колон. Крім того, ці дефектоскопи-товщиноміри дають можливість дослідити дефекти технічних, експлуатаційних та насосно-компресорних труб.

Розглянемо для прикладу дефектоскоп-товщиномір МІД-К. Мінімальна довжина пошкоджень експлуатаційної колони, яка може бути визначена цим приладом, складає 50-100 мм, а у технічній колоні не менше 70-150 мм. У обсадних колонах великого діаметру (проміжна колона і кондуктор) чутливість МІД-К не регламентується. Однак, як видно із свердловинних досліджень, збільшення діаметру свердловини зменшує чутливість магніто-імпульсного дефектоскопа. Основні характеристики магніто – імпульсних дефектоскопів-товщиномірів приведені в

роботах [1, 2].

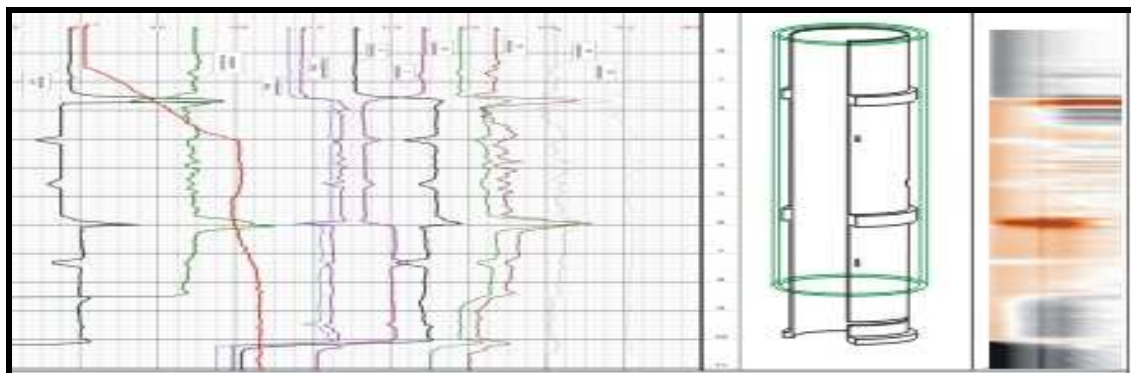
Достовірність визначення параметрів, що характеризують технічний стан колони, у значній ступені залежить від метрологічної надійності вимірювальної системи. У загальному кожна система повинна забезпечувати отримання геофізичної інформації методикою, яка відповідає нормативним параметрам. Нормативні методико-технологічні параметри формуються при розробці вимірювального геофізичного засобу і технології проведення досліджень, вони визначаються при проведенні метрологічного забезпечення.

Метрологічні параметри вимірювальних засобів вивчаються методом експериментальних випробувань, які проводяться на фізичних моделях реальних гірських порід, або на штучно побудованих атестованих контрольно-повірочних установках і свердловинах. Метрологічні установки і моделі повинні відповідати адекватності процесу вимірювання фізичних властивостей.

Для проведення метрологічних операцій з приладом МІД-К у Полтавському управлінні геофізичних робіт розробили модель, яка імітує будову експлуатаційних свердловин та штучних дефектів. Модель відтворює зміну товщини стінок обсадної та технічної колон на 2 мм та імітує три поперечних прориви колони 10x2 мм, один поздовжній прорив 40x2 мм і імітований башмак технічної колони (рис. 1). Модель виконана на базі нових металевих труб обсадних колон, що не мають впливу процесу корозії та не піддавалися механічним деформаціям. Ця ситуація обумовлює чітке визначення параметрів, що характеризують технічний стану колон.

Враховуючи, що в більшості випадків проведення контролю технічного стану свердловини відбувається вже у свердловинах, на яких є ознаки корозії, негерметичність або мають місце пошкодження колон внаслідок технологічних процесів, то інтегрована характеристика вимірювальних параметрів може бути спотворенна.

Для підвищення достовірності оцінки технічного стану колони необхідно розширити комплекс геофізичних досліджень. Прикладом комплексного визначення дефектів колони є дослідження інтервалів надходження води у свердловину. Розглянемо ситуацію, коли у свердловині після встановлення цементних мостів виконано опресування колони, а за даними падіння тисків виявлено порушення герметичності. Проведений комплекс



**Рисунок 1 - Повірна модель для контролю апаратури МІД-К**

геофізичних методів дозволив встановити і деталізувати місце та характер порушення. За даними термометрії (рис. 2) встановлено місце припливу води у колону.

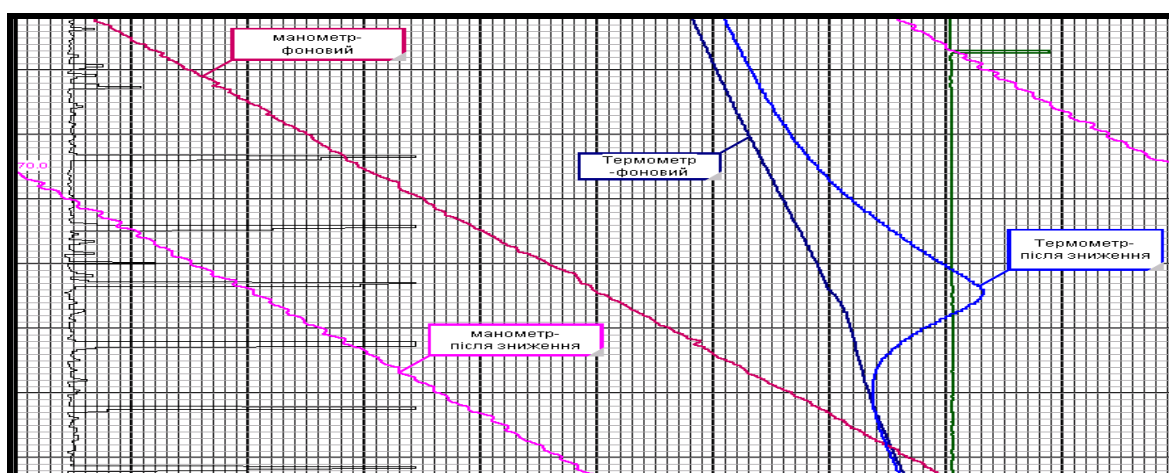
Деталізація характеру порушення проведена за даними мікропрофілеміра (рис. 3) та електромагнітного дефектоскопа МІД-К (рис. 4), які показали наявність прориву на стику труб колони. Утворення цього порушення відбулося за рахунок спускопідйомних операцій труб НКТ. Перехід діаметрів труб у цьому місці створили умови для навантаження, що привело до пориву колони.

У даному випадку використання МІД-К у комплексі з іншими геофізичними методами дало однозначну інтерпретацію.

У більшості випадків задача щодо виявлення порушень у колонах за магнітоімпульсною дефектоскопією вирішується однозначно, але у випадках, як представлено на рис. 5, зміна типу

сталі з підвищеною намагніченістю з глибини 1180 м і до вибою значно ускладнює отримання інформації про технічний стан колони.

Розглянемо цю причину. Зміна значень параметрів електромагнітних властивостей ( $\sigma$  – електропровідність і  $\mu$  – магнітна проникність) є визначальною при дослідженні технічних параметрів колон. Параметри  $\sigma$  і  $\mu$  залежать не тільки від заводських технологій виготовлення і складу металу труб, але і від зміни з часом електромагнітних характеристик металу під дією циклічних механічних навантажень та корозії. Електрохімічні потенціали, які виникають на поверхні колон, утворюють локальні джерела корозії. Ці джерела можуть розповсюджуватися на значні відстані і з часом їх щільність на площині зростає. Окремі джерела руйнують колону до наскрізних отворів. За рахунок значної кількості джерел корозії електромагнітні властивості матеріалу



**Рисунок 2 - Визначення профілю припливу води через негерметичність експлуатаційної колони**

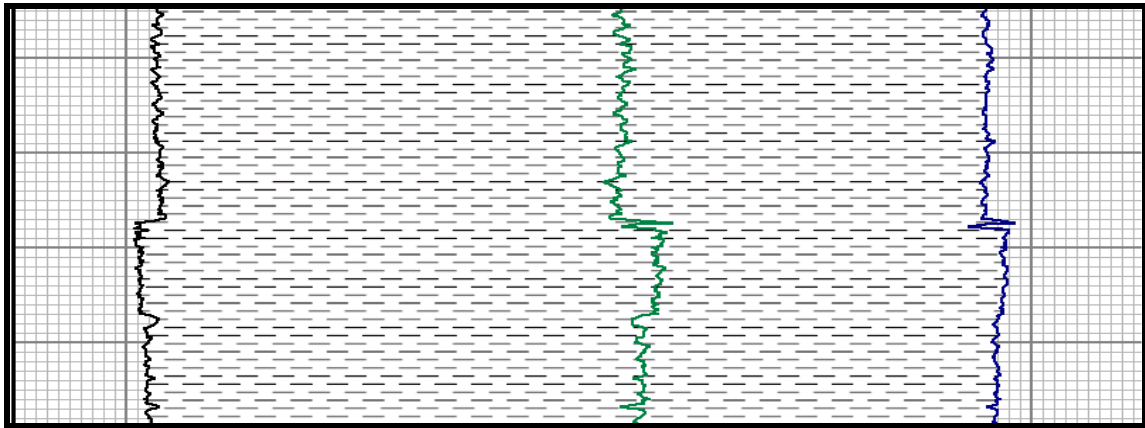


Рисунок 3 - Виявлення порушення на стиках труб різного діаметру

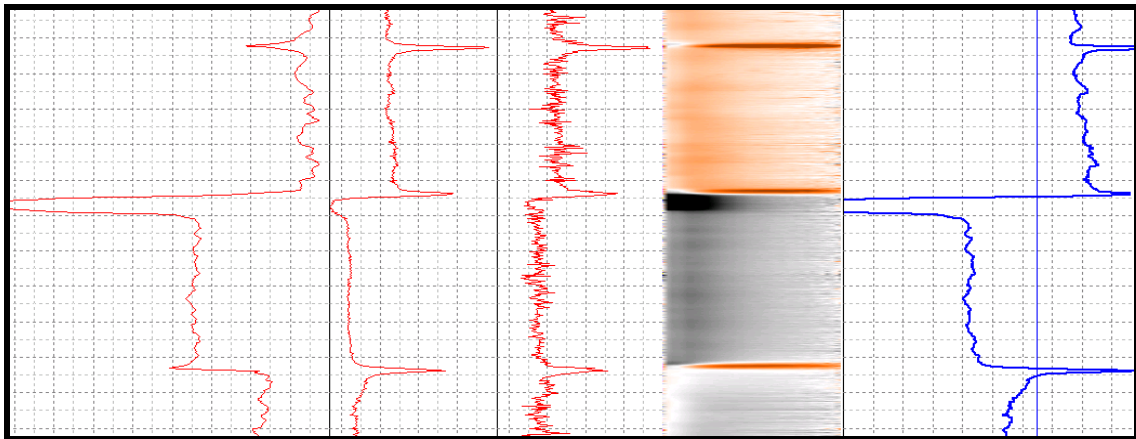


Рисунок 4 - Виявлення розходження муфтових з'єднань за даними МІД-К

змінюються на великих відрізках колони. Процеси корозії приводять як до зміни електропровідності, так і до зміни магнітної проникності.

Для приведення відповідності значень електричних сигналів до товщини стінки колони в основному використовують градування. Слід зауважити, що такий метод має певні похибки, які пов'язані з неможливістю контролю змін характеристик матеріалу колон і магнітної обстановки.

Перехід до кількісної інтерпретації отриманої інформації і визначення параметрів середовища  $\mu$ ,  $\sigma$ ,  $m$  ( $m$ -товщина стінки колони), які характеризують металеву колону, потребує розвитку теоретичної бази цього методу. Для цього використовується чисельне моделювання вимірювань методом магнітно-імпульсної дефектоскопії.

Розглянемо її у наступній постановці

математичної моделі. На осі симетрії однорідного середовища з  $N$  коаксіально-циліндричними поверхнями розподілу на відстані  $L$  одна від одної розташовані генераторна і вимірювальна котушки. Необхідно визначити характеристику затухання поля в точці розташування вимірювальної котушки.

Враховуючи осьову симетрію утвореного електромагнітного поля, прийmemo циліндричну систему координат  $R, \Phi, Z$ . Початок координат вибирається у середині генераторної котушки і вона розглядається як магнітний диполь з моментом  $M_z = M e_z$ , це  $Z$ -вісь, яка спрямована вздовж осі колони симетрії. Параметри, які описують циліндричні границі  $r_i$  ( $i = 0, 1, 2, \dots, N-1$ ):  $\sigma_i$  – електропровідність,  $\epsilon_{oi}$  – діелектрична проникність,  $\mu_{oi}$  – магнітна проникність і квадрат хвильового числа  $\kappa_i^2 = \mu_{oi} \omega^2 \epsilon_{oi} + L \mu_{oi} \omega \sigma_i$ ,  $\omega$  – частота.

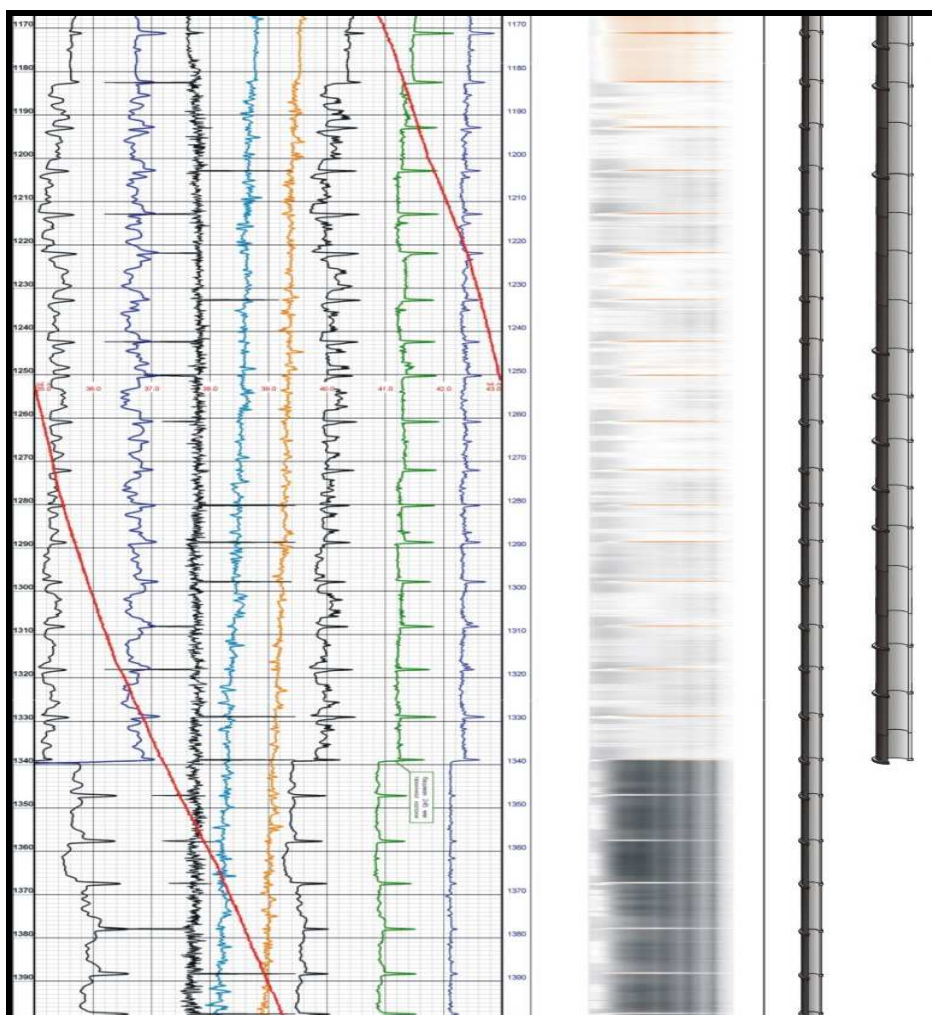


Рисунок 5 - Зміна типу сталі з підвищеною намагніченістю

Для визначення параметрів утвореного електромагнітного поля, яке має нестационарний процес зміни у коаксіально-циліндричному середовищі, використовується спектральний аналіз (теорія спектрального аналізу в роботі не наводиться, оскільки це не входило в мету роботи і розв'язок такої задачі відомий).

При утворенні поля  $J(t) = 1$  при  $t < 0$  і  $J(t) = 0$  при  $t > 0$  отримуємо, що:

$$H(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} H_z(\omega) \frac{L^{-j\omega t}}{i\omega} d\omega, \quad (1)$$

де  $J(t)$  – параметр, що характеризує електромагнітне поле, яке утворюється в котушці;  $t$  – час релаксації поля;  $H_z(\omega)$  – напруженість магнітного поля на осі свердловини, яка вимірюється в одиницях поля магнітного диполя у повітрі і яка визначається так:

$$H_z(\omega) = h_z^0(k_0, L) - \frac{L^3}{\pi} \int_0^{\infty} m_0 c_0^2 \cos mdm, \quad (2)$$

де  $h_z^0(k_0, L)$  – одиничне поле в однорідному середовищі з питомою провідністю  $\sigma_0$ ;  $m_i = \sqrt{m - k_i^2}$  – товщина колони;  $c_0$  – константа, визначається за граничними умовами.

Для розрахунку параметрів поля при заданій кількості циліндричних поверхонь (металевих колон) проводять числове інтегрування рівняння (2), для чого використовується одна з програм стандартного математичного пакету.

Експериментальні дослідження вказують на високу збіжність фізичного моделювання і теоретичних розрахунків [3]. Використовуючи результати математичного моделювання із застосуванням сучасної обчислювальної техніки, можна в реальному часі визначати параметри магнітної проникності, питомої електропровідності і товщини стінки металеві

колони. При цьому основним технологічним параметром, який необхідно визначити, є товщина стінки колони.

Отримавши алгоритм математичної моделі процесу становлення електромагнітного поля в часі, використовується метод умовної нелінійної оптимізації для пошуку значень вектора  $\vec{P} = \{\mu_i, \sigma_i, m_i\}$  у процесі вибору оптимального із них, де  $i = 1, 2, \dots, N$ ,  $N$  – число металевих труб.

Для мінімізації пропонується функціонал

$$\Psi = \left\| E^*(t) - E(P, t) + \varepsilon \right\| \rightarrow \min, \quad (3)$$

де  $\varepsilon$  – абсолютна похибка;  $E^*(t)$  – результати вимірювань електрорушійної сили в приймальній котушці;  $E(P, t)$  – оператор розв'язання прямої задачі.

Пошук мінімуму функціоналу  $\Psi$  пропонується проводити при слабких початкових наближеннях за обмеженою кількістю ітерацій для забезпечення поточної обробки геофізичної інформації.

Виходячи з наведеного, для визначення товщини колони необхідно отримати інформацію про електропровідність та магнітопровідність, які є параметрами, що визначаються при розв'язанні зворотної задачі шляхом умовної нелінійної оптимізації, а отримання однозначно стабільного рішення потребує використання додаткової кількісної інформації. Таким чином, при практичному використанні апаратури МІД-К значення магнітопровідності вводиться як константа для кожної металевої експлуатаційної колони. Неоднорідність магнітних властивостей приводить до спотворення визначення товщини колони та наявних дефектів металевої колони.

Однак аналіз результатів великого об'єму геофізичних досліджень технічного стану обсадних колон та муфтових з'єднань на родовищах Дніпрово-Донецької западини показав, що дефектоскопи-товщиноміри типу МІД-К мають певні недоліки, які характеризуються наступним: відсутністю

можливості виявлення ділянок розширення стінок металевих колон; недостатня чутливість для встановлення місць пошкоджень муфтових з'єднань; низька чутливість виявлення дефектів металевих колон, які мають домішки різних металів; складність дослідження технічних параметрів за умов неоднорідності магнітних властивостей металу; неможливість контролю динаміки зміни товщини колони.

## ВИСНОВКИ

Незважаючи на вказані вище недоліки магнітоімпульсних дефектоскопів, у теперішній час вони використовуються як основний вимірювальний інструмент для дослідження технічного стану свердловин на етапі контролю за розробкою нафтогазових родовищ. Магнітоімпульсна дефектоскопія є пріоритетним методом дослідження технічного стану металевих колон у експлуатаційних свердловинах. Для підвищення достовірності отримання технічних параметрів стану металевих колон необхідно використовувати комплекс геофізичних методів при дослідженні експлуатаційних свердловин.

1. Климов В.В. Проблемы дефектоскопии обсадных колонн на нефтегазовых месторождениях и подземных хранилищах газа / В.В. Климов, Е.В. Климов // Науч.-техн. вестник „Каротажник”. – Тверь, 2009. – № 10 – С.83 – 90. Старостін А.В. Методичні особливості комплексу геофізичних досліджень технічного стану обсадних та експлуатаційних колон / А.В. Старостін // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2006. – № 1 (18). – С. 87 – 91. 3. Потапов А.В., Кнеллер Л.Е. Численное решение задачи становления поля магнитного диполя в скважинах многоколонной конструкции. // НТВ «Каротажник». Изд. АИС. 1998. Вып. 52. С.77 – 81.

Поступила в редакцію 18.11.2011 р.

Рекомендував до друку докт. г.--м. наук,  
проф. Маєвський Б. Й.