ГЕОФІЗИКА

УДК 550.832.5
DOI: http://doi.org/10.17721/1728-2713.87.03

М. Бондаренко, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.;
В. Кулик, канд. фіз.-мат. наук, пров. наук. співроб.
E-mail: vkulyk@igph.kiev.ua;
З. Євстахевич, пров. інж.
Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,
пр. Палладіна, 32, Київ-142, 03680, Україна;
С. Данилів, директор;
В. Зіненко, пров. інженер-електронник;
М. Лось, пров. інженер-конструктор;
E-mail: info@ukrspecpribor.com.ua,
ТОВ "Укрспецприбор",
вул. Западинська, 5, м. Київ, 04123, Україна

АПАРАТУРНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НАФТОГАЗОВИХ КОЛЕКТОРІВ У ПРОЦЕСІ БУРІННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ СВЕРДЛОВИН

(Представлено членом редакційної колегії канд. геол. наук, ст. наук. співроб. І.М. Безродною)

Розглянуто основні положення нового для України напрямку геофізичних досліджень у свердловинах (ГДС) – каротаж у процесі буріння (logging while drilling – LWD). Технологія LWD має ряд переваг перед іншими видами ГДС, зокрема при дорозвідці та видобуванні вуглеводнів на родовищах, що перебувають у тривалій експлуатації. При цьому важливе значення має буріння горизонтальних свердловин, які за продуктивністю значно переважають вертикальні.

Для дослідження горизонтальних свердловин нами запропоновано універсальний компактний прилад радіоактивного каротажу малого діаметра, який встановлюють у цільній бурильній трубі безпосередньо перед бурінням. Комбінований прилад LWD-КПРК-48 (діаметром 48 мм) містить двозондові пристрої нейтрон-нейтронного, нейтрон-гамма і густинного гамма-гамма каротажу та розміщений окремо блок гамма-каротажу. Зі створеним комбінованим приладом проведено градуювальні роботи на фізичних моделях пластів-колекторів за наявності бурильних труб і побудовано відповідні градуювальні залежності від пористості та густини. На основі градуювальних залежностей отримано калібрувальні (інтерпретаційні) функції, які разом з розробленими способами та іншими даними дозволяють визначати розширену сукупність петрофізичних параметрів, а саме пористість водо-, нафто- і газонасичених колекторів, параметри ідентифікації флюїду: вода – нафта і вода – газ, коефіцієнти нафтонасиченості, газонасиченості і водонасиченості, об'ємний вміст нафти, газу та ін.

Випробування каротажного приладу LWD-КПРК-48 при бурінні горизонтальної свердловини в нафтоносному пласті показало високу інформативність та дієздатність розробки. Створений апаратурно-методичний комплекс для дослідження горизонтальних нафтогазових свердловин у процесі їх буріння має ряд переваг перед відомими аналогами, зокрема, є універсальним, зручним, більш доступним для добувних та каротажних нафтогазових компаній.

Ключові слова: каротаж у процесі буріння, горизонтальні свердловини, нафтогазові колектори, комбінований прилад радіоактивного каротажу, інтерпретаційно-методичне забезпечення, петрофізичні параметри.

Вступ. Одним із реальних і відносно швидких та малозатратних шляхів збільшення видобутку нафти і газу в Україні є дорозвідка і виявлення нових об'єктів на родовищах, що перебувають у тривалій експлуатації.

Зокрема, значного поширення у світовій практиці набуло буріння бокових відгалужень раніше створених свердловин з переходом на горизонтальне буріння вздовж нерозроблених пластів-колекторів, у тому числі малої потужності. На практиці встановлено, що горизонтальні свердловини за продуктивністю значно переважають вертикальні (*Hill et al., 1996*). Крім того, за допомогою бокових і горизонтальних свердловин зручно відбирати вуглеводні з відносно невеликих локальних відкладів у межах старих родовищ.

Важливе місце в технологіях розвідки і видобування вуглеводнів займають вимірювання в процесі буріння (*англ.* measurements while drilling – MWD). Пристрої і методики MWD використовують для навігації при бурінні, для отримання механічних параметрів (обертальний момент, тиск на породу, швидкість проходки та ін.) До MWD відносять реєстрацію параметрів гамма-випромінювання порід (наприклад, для контролю буріння в межах заданого горизонтального пласта), а також передачу і приймання результатів вимірювань у реальному часі в процесі буріння.

Із MWD в окремий напрям виділені геофізичні дослідження порід під час проходки вертикальних, похилих і горизонтальних свердловин. Каротаж у процесі буріння (*англ.* logging while drilling – LWD) з метою отримання даних про петрофізичні параметри пластів-колекторів у режимі реального часу є відносно новою технологією геофізичних досліджень у свердловинах (ГДС). Ця технологія продовжує інтенсивно розвиватись у зв'язку з низкою переваг порівняно з іншими підходами до ГДС.

Комерційне впровадження технології LWD передові західні фірми почали в кінці 80-х – на початку 90-х років минулого століття (*Allen et al., 1989; Bonner et al., 1992; Ellis and Singer, 2008*), у Росії – значно пізніше (*"Прибор 2ННК-ГГК*лп-*LWD-121", 2014*). В Україні перший прилад для каротажу в процесі буріння (модуль двозондового нейтрон-нейтронного каротажу за тепловими нейтронами 2ННКт) було створено, випробувано і впроваджено у 2015 р. фірмою ТОВ "Укрспецприбор" (*Модуль 2ННК*т-*LWD. Руководство по эксплуатации, 2014*). З 2017 р. цією фірмою разом з Інститутом геофізики НАН України розпочато роботи зі створення оригінального апаратурно-методичного комплексу радіоактивного каротажу (РК) для LWD-досліджень, що включає нейтрон-нейтронний каротаж (ННК), нейтрон-гамма каротаж (НГК), густинний гамма-гамма каротаж (ГГК) і інтегральний гамма-каротаж (ГК).

Порівняно з приладами на кабелі, каротажні пристрої для LWD перебувають у несприятливих умовах сильних механічних навантажень – вібрації, ударів, обертань тощо, а також високої температури, протягом тривалого часу проведення буріння. Це ставить особливі вимоги до конструкції LWD-пристроїв, а також вимагає стійких до механічних впливів детекторів та інших елементів, введення амортизаційних елементів всередині захисного кожуха і при установці LWD-пристроїв у бурильній трубі (БТ).

Передача результатів вимірювань також має свою специфіку. Способи передачі інформації безпосередньо

© Бондаренко М., Кулик В., Євстахевич З., Данилів С., Зіненко В., Лось М., 2019

під час буріння включають цифрове кодування і трансмісію даних на поверхню, здебільшого через промивальну рідину за допомогою імпульсів тиску. Така телеметрія є досить повільною і обмеженою за об'ємом інформації, тому в реальному часі передається мінімальна кількість параметрів (дані навігації і ГК, пористість, густина колектора) (*Ellis and Singer, 2008*).

Весь обсяг інформації при LWD записують в автономний накопичувальний пристрій всередині приладу LWD і отримують повні дані вимірювань після піднімання бурильної колони на поверхню. Після цього виконується повна обробка отриманих результатів та їх інтерпретація. Такий підхід здебільшого є достатньо оперативним для кількісної оцінки повного набору петрофізичних параметрів колекторів та інших даних.

Мета статті – обґрунтування раціонального комплексу методів РК для комплексного визначення петрофізичних параметрів нафтогазових колекторів при LWD-вимірюваннях, розроблення нового підходу до способу здійснення LWD-вимірювань, створення відповідного універсального комбінованого приладу РК та його випробування.

Комплекс радіоактивних методів для LWD. До методів радіоактивного каротажу, які можна застосувати при LWD, належать: ННК, ГГК, ГК, а також НГК (останній у зарубіжних фірмах не використовувався). Застосування методів РК в LWD-технології основане на високій інформативності комплексу цих методів та можливості створення комбінованих приладів для проведення вимірювань в умовах буріння.

Застосуванню методів РК при LWD сприяє також практична відсутність зони проникнення фільтрату бурового розчину в пласт, відсутність зони кольматації та глинистої кірки.

Методи РК добре розвинуті і широко використовуються у каротажі на кабелі (*Кузнецов и Поляченко, 1990; Ellis and Singer, 2008*). У принциповому плані, обґрунтування і застосування методів РК при різних видах каротажу мають спільні риси. Однак технічні умови для LWD, апаратурне втілення, метрологічні і методичні особливості, способи передачі інформації істотно відрізняються від каротажу на кабелі.

Метод ННК реалізують у вигляді двозондового варіанта (2ННК). Це дає можливість використати відношення показань меншого (МЗ) і більшого (БЗ) зондів – спосіб компенсаційного нейтронного каротажу (КНК). Спосіб КНК дозволяє значною мірою нівелювати вплив ряду факторів при визначенні пористості (*Кузнецов и Поляченко, 1990; Хаматдинов и др., 1989*). При цьому для оцінки характеру насичення інформативним може бути також використання індивідуальних зондів (однозондовий нейтрон-нейтронний каротаж – 1ННК) у комплексі з КНК.

Це ж саме стосується і методу НГК (компенсаційний нейтрон-гамма каротаж (КНГК), 1НГК).

Для реалізації методів ННК і НГК використовують Pu-Be або Am-Be джерела нейтронів.

Використання методу густинного каротажу ГГК при LWD має свої особливості у зв'язку зі значною товщиною стінок бурильних труб. Західні і услід за ними російські фірми (*LWD-ADN tool, 2003*; *Прибор 2ННК-ГГК*лп-*LWD-121, 2014*) пішли шляхом створення "вікон" у бурильній трубі навпроти детекторів і джерела гамма-квантів. При цьому "приладом" служить сама труба з вмонтованими в ній датчиками, а джерелом гамма-квантів – ізотоп ^{137}Cs.

Комбіновані прилади РК на основі бурильної труби є досить громіздкими і важкими (наприклад, прилад LWD-ADN (*LWD-ADN tool, 2003*) має довжину 6,6 м, вагу 907 кг), що створює незручності при роботі з такими приладами як на фізичних моделях, так і при свердловинних вимірюваннях.

Для дослідження горизонтальних свердловин нами запропоновано інший підхід: використання легкого компактного універсального приладу РК малого діаметра, який встановлюють в цільній БТ безпосередньо перед бурінням. Комбінований прилад РК містить двозондові пристрої 2ННК, 2НГК і 2ГГК (та окремо ГК), що дозволяє визначати потрібну сукупність параметрів пластів-колекторів.

Визначувані петрофізичні та інші параметри. Використання порізно індивідуальних методів РК не дозволяє визначити необхідну сукупність петрофізичних та інших параметрів нафтогазових колекторів. У той же час комплексне застосування методів РК, зокрема комплекс ГК, ННК, НГК і ГГК, дає можливість отримати кількісні значення більшості практично важливих параметрів.

1. Параметри інтегрального гамма-каротажу (ГК).

1.1. Потужність експозиційної дози (або показання ГК в одиницях API).

1.2. Швидкість лічби гамма-квантів як фон для детекторів ГГК і НГК.

1.3. Відносний різницевий параметр ГК (використовуються показання ГК у вигляді 1.1 або 1.2).

2. Параметри глинистості.

2.1. Загальна масова глинистість за ГК.

2.2. Масовий вміст глинистих мінералів за ГК.

2.3. Загальна об'ємна глинистість за комплексом ГК+ГГК.

2.4. Об'ємний вміст глинистих мінералів за комплексом ГК+ГГК.

3. Параметри густини породи.

3.1. Загальна густина за ГГК.

3.2. Густина твердої фази водонасичених колекторів за ГГК + (КНК+ГК).

4. Позірна пористість.

4.1. Нейтронна пористість за КНК (включає зв'язану воду глинистих мінералів).

4.2. Нейтронна пористість за 1ННК (включає зв'язану воду глинистих мінералів і вплив мінералізації порового флюїду).

4.3. Пористість за КНК для газових колекторів.

4.4. Пористість за (КНК+ГК) для газових колекторів.

4.5. Пористість з використанням ГГК для газових колекторів.

4.6. Пористість з використанням 2НГК – аналогічно 2ННК.

5. Загальна (істинна) пористість.

5.1. Пористість водо- і нафтонасичених колекторів за (КНК+ГК).

5.2. Пористість водо- і нафтонасичених колекторів за ГГК.

5.3. Пористість газонасичених колекторів за (КНК+ГК)+ГГК.

6. Характер насичення колекторів.

6.1. Параметр ідентифікації вода – газ за комплексом (КНК+ГК)+ГГК.

6.2. Параметр ідентифікації вода – нафта за комплексом (КНК+1НГК).

6.3. Характер насичення вода – нафта за комплексом (1ННК+1НГК).

7. Коефіцієнти флюїдонасиченості.

7.1. Коефіцієнт газонасиченості за комплексом (КНК+ГК)+ГГК.

7.2. Коефіцієнт нафтонасиченості за комплексом (КНК+ГК)+1НГК.

7.3. Коефіцієнт водонасиченості газових колекторів за комплексом (КНК+ГК)+ГГК; нафтових колекторів за комплексом (КНК+ГК)+1НГК.

8. Об'ємний вміст вуглеводнів.

8.1. Об'ємний вміст газу за комплексом (КНК+ГК)+ГГК.

8.2. Об'ємний вміст нафти за комплексом (КНК+ГК)+1НГК.

Комбінований прилад радіоактивного каротажу LWD-КПРК-48. Відомий підхід до конструкції приладів LWD (*Ellis and Singer, 2008; LWD ADN tool, 2003*) полягає в тому, що компоненти РК вмонтовані в БТ з колімаційними вікнами для джерела ^{137}Cs і детекторів ГГК (тобто "приладом" для LWD служить модифікована БТ). Такий підхід дозволяє виконувати літолого-густинний каротаж (ГГКлг).

Для LWD горизонтальних свердловин (з відносно тонкостінними БТ) ми пішли по шляху створення універсального комбінованого приладу діаметром 48 мм, який вставляється у відповідну бурильну трубу. Реалізація такого приладу можлива, як показали виконані експериментальні роботи, якщо в пристрої густинного ГГК замість джерела ^{137}Cs (енергія гамма-квантів E_0 = 0,66 МеВ) використати джерело ^{60}Co з більш високою енергією E_0 = 1,17 і 1,33 МеВ. Використання джерела ^{60}Co значно збільшує проникність гамма-квантів і глибинність густинного ГГК.

Комбінований прилад радіоактивного каротажу LWD-КПРК-48 складається із двох компонентів: модуль 2ННК+2НГК і модуль 2ГГК. Модульна конструкція зручна для проведення градуювальних робіт на фізичних моделях гірських порід, при транспортуванні, обслуговуванні тощо. Перед установкою в бурильну трубу модулі з'єднують і прилад центрують в БТ за допомогою спеціальних центраторів-амортизаторів.

Загальна довжина приладу LWD-КПРК-48 – 4100 мм; вага – 24 кг; робочий діапазон температур – від – 10 °С до + 150 °С; максимальний гідростатичний тиск – 80 МПа.

На рис. 1 представлено схеми модуля 2ННК+2НГК і модуля 2ГГК.

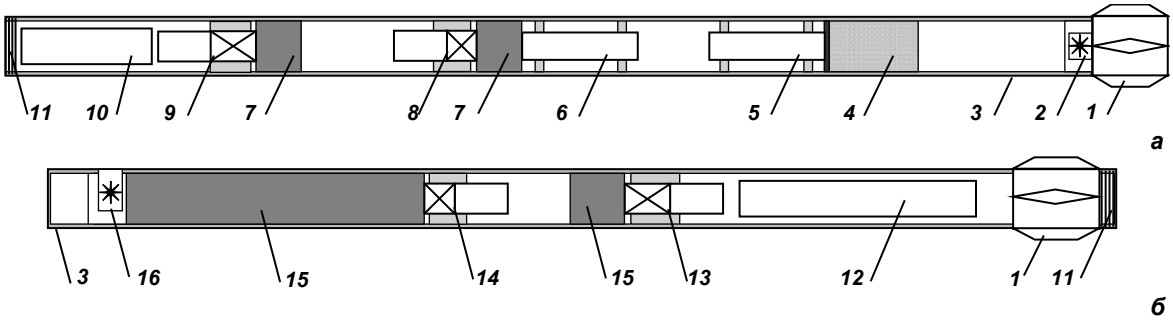

Рис. 1. Схема приладу LWD-КПРК-48: а – модуль 2ННК+2НГК; б – модуль 2ГГК.
1 – центратори-амортизатори, 2 – джерело нейтронів, 3 – кожух приладу, 4, 7 – екрани,
5 – детектор нейтронів МЗ ННК, 6 – детектор нейтронів БЗ ННК, 8 – детектор гамма-квантів МЗ НГК,
9– детектор гамма-квантів БЗ НГК, 10 – блок електроніки, 11 – роз'єм модулів, 12 – блок пам'яті,
13 – детектор гамма-квантів БЗ ГГК, 14 – детектор гамма-квантів МЗ ГГК, 15 – екрани, 16 – джерело гамма-квантів

Елементи інтерпретаційно-методичного забезпечення. Для градуювання модуля 2ГГК приладу КПРК було створено повномасштабні фізичні моделі густини гірських порід, а для градуювання модуля 2ННК+2НГК використано існуючі фізичні моделі пористості пластів-колекторів (*Звольський та ін., 2008*). Фізичне моделювання проводилось з двома бурильними трубами, які центровані в свердловині: БТ 1 – зовнішній діаметр 120 мм, товщина стінки 25 мм; БТ 2 – зовнішній діаметр 89 мм, товщина стінки 12,5 мм.

На рис. 2 представлено градуювальні залежності для ННК (*а*) і НГК (*б*) від пористості, для ГГК (*в*) від густини та для ГК від загальної масової глинистості і масового вмісту глинистих мінералів (*Кулик та ін., 2015*).

Як видно з рис. 2, прилад LWD-КПРК-48 характеризується достатньо високою чутливістю до шуканих параметрів за наявності бурильних труб, які використовуються при горизонтальному бурінні.

Для визначення петрофізичних параметрів газоносних і нафтоносних гірських порід за комплексом РК групою ядерної геофізики ІГФ НАНУ створено відповідні способи (*Кулик та Бондаренко, 2005; 2010; Кулик та ін., 2014; Bondarenko and Kulyk, 2017*), які є основою для розробки інтерпретаційно-методичного забезпечення приладу КПРК-48 з урахуванням умов проведення LWD.

Випробування приладу LWD-КПРК-48. Комбінований прилад радіоактивного каротажу для дослідження нафтогазових свердловин у процесі буріння було випробувано на горизонтальній ділянці пласта-колектора, який за попередніми даними оцінено як нафтоносний.

Номінальний діаметр горизонтальної свердловини становив 156 мм, діаметр бурильної труби 120 мм. Прилад LWD-КПРК-48 з джерелом нейтронів ^{238}Pu-Be і джерелом гамма-квантів ^{60}Co центровано в бурильній трубі. Блок ГК розміщено поза приладом в системі MWD.

На рис. 3 представлено каротажні дані для окремих зондів ГГК, НГК і ННК, а також пористість за КНК, що отримані на певній ділянці горизонтальної свердловини. Із рис. 3 видно, що представлені дані (у тому числі зонд ГГК) відображають зміну властивостей горизонтального пласта-колектора: збільшення пористості веде до зменшення показань ННК і НГК, а відповідне зменшення густини збільшує показання ГГК.

На рис. 4 приведено кросплот, який дозволяє за комплексом НГК+ННК оцінити характер насичення вода – нафта вздовж окремих ділянок горизонтального пласта-колектора. Кросплот підтверджує наявність нафтонасичених ділянок горизонтальної свердловини. Із кросплоту видно, що поряд з високим нафтонасиченням мають місце ділянки з проміжним і низьким нафтонасиченням.

Висновки. У результаті співпраці дослідно-конструкторського підприємства (ТОВ "Укрспецприбор") і наукової установи (Інститут геофізики НАН України) розроблено апаратурно-методичний комплекс для визначення основних петрофізичних параметрів нафтогазових колекторів при каротажі в процесі буріння горизонтальних свердловин. Комплекс дозволяє визначати: пористість водо-, нафто- і газонасичених колекторів, параметр ідентифікації вода – нафта, параметр ідентифікації вода – газ, коефіцієнт нафтонасиченості, коефіцієнт газонасиченості, об'ємний вміст нафти, об'ємний вміст газу та ін.

Зі створеним комбінованим приладом радіоактивного каротажу LWD-КПРК-48 проведено роботи на фізичних моделях пластів-колекторів за наявності бурильних труб і побудовано градуювальні залежності від пористості і густини. На їх основі отримано калібрувальні (інтерпретаційні) залежності, які разом з іншими даними дозволяють визначати розширену сукупність петрофізичних параметрів.

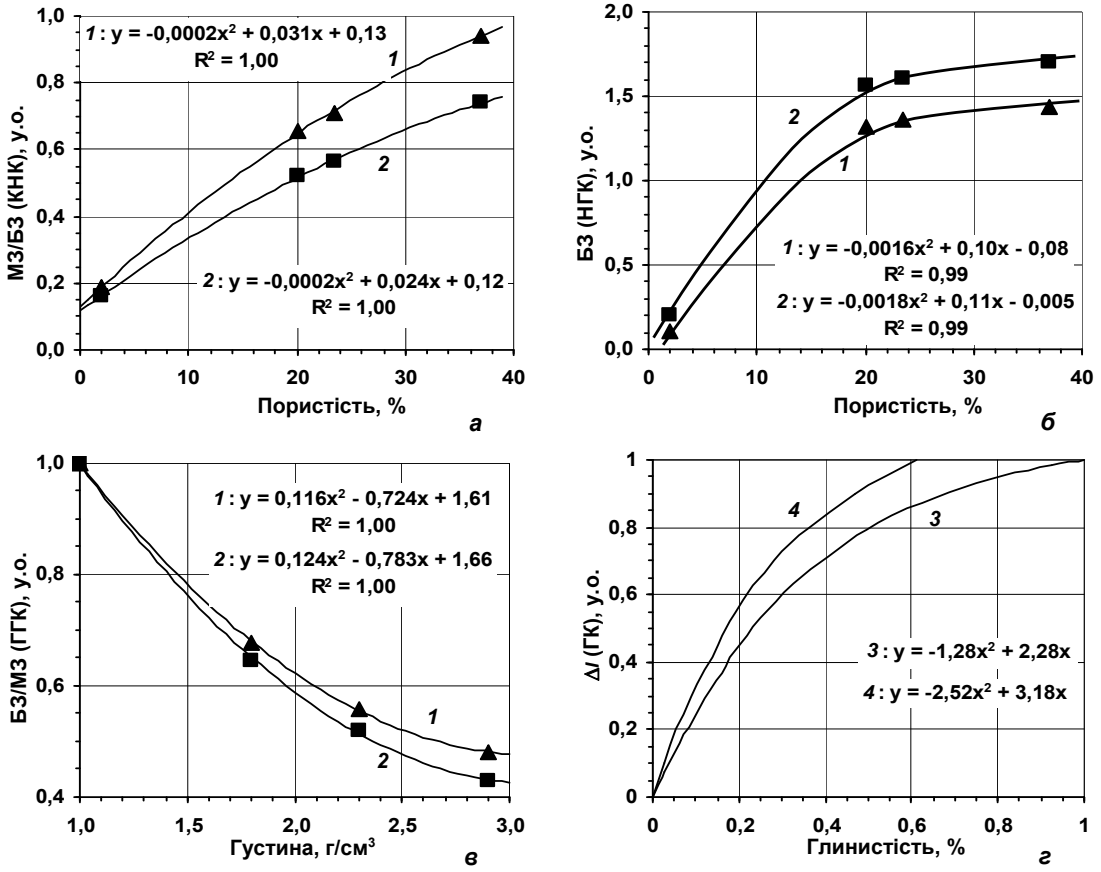

Рис. 2. Градуювальні залежності для приладу LWD-КПРК-48.
Діаметр бурильної труби: *1* – 120 мм, *2* – 89 мм. а – відношення показань зондів ННК від пористості;
б – показання більшого зонда НГК від пористості; в – відношення показань зондів ГГК від густини;
г – відносний різницевий параметр ГК від загальної масової глинистості (*3*) і від масового вмісту глинистих мінералів (*4*)

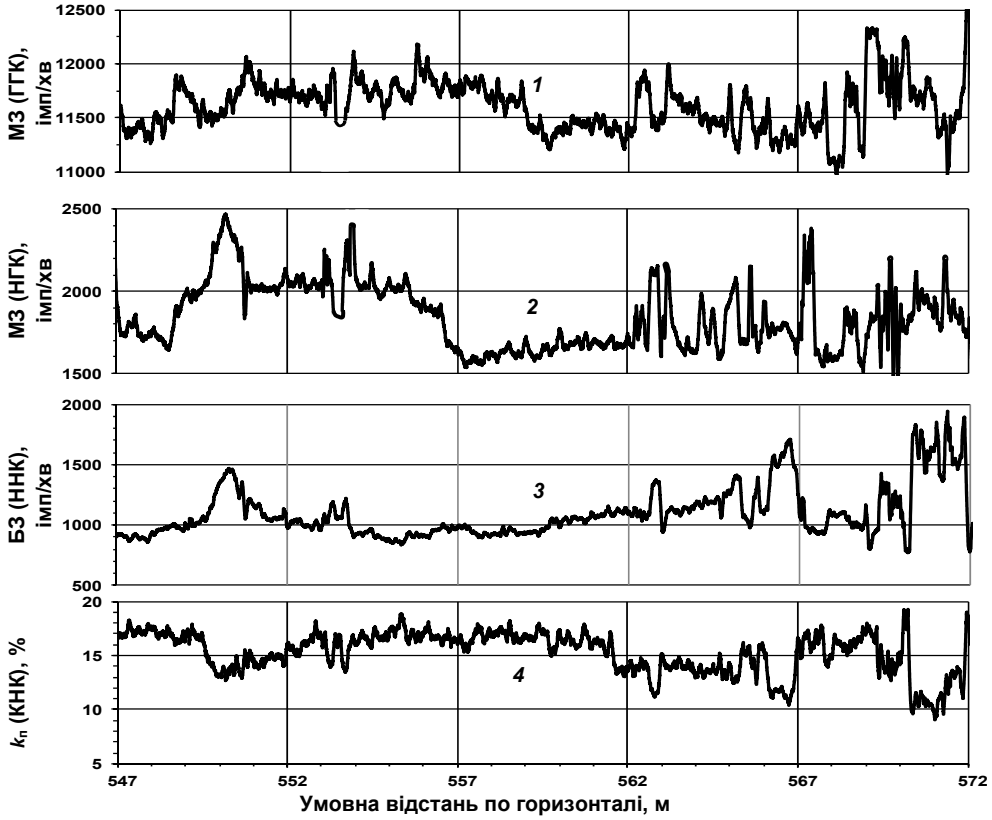

Рис. 3. Результати каротажу в процесі буріння горизонтальної свердловини (ДДЗ, Полтавська обл.)
Прилад LWD-КПРК-48. *1* – показання меншого зонда ГГК, *2* – показання меншого зонда НГК,
3 – показання більшого зонда ННК, *4* – пористість за способом КНК

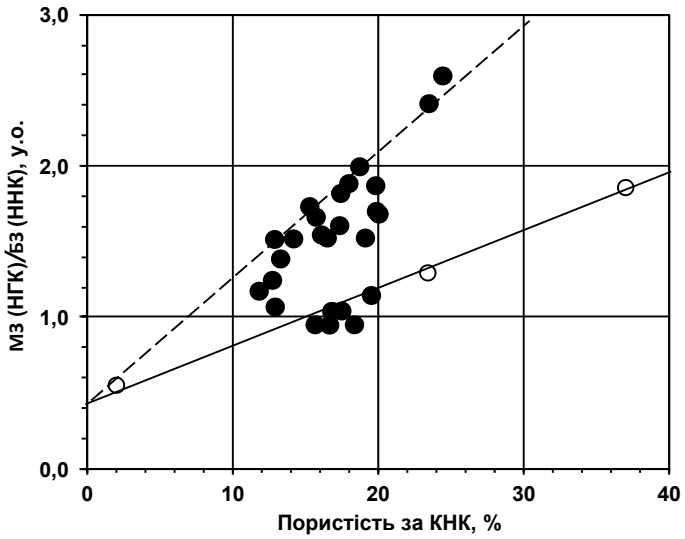

Рис. 4. Оцінка характеру насичення в горизонтальній свердловині (ДДЗ, Полтавська обл.).
Поінтервальний кросплот: пористість за КНК ↔ відношення показань МЗ(НГК)/БЗ(ННК);
● – свердловинні дані; ○ – фізичні моделі пластів-колекторів, насичені прісною водою;
— — — – лінія мінералізованої води (C_{NaCl} ~ 200 г/л); —— – лінія нафти (прісної води)

Випробування приладу LWD-КПРК-48 показали дієздатність і високу інформативність розробки. Разом з тим, виконані в процесі буріння горизонтальної свердловини вимірювання дають можливість провести ряд подальших удосконалень (оптимізація довжини і конструкції зондів під параметри конкретних бурильних труб, реалізація електронної системи згладжування статистичних флуктуацій показань та ін.), які поліпшують апаратурну і методичну основу для визначення параметрів нафтогазових колекторів.

Створений апаратурно-методичний комплекс для проведення каротажу в процесі буріння горизонтальних свердловин має ряд переваг перед відомими аналогами, зокрема, є універсальним, зручним, більш доступним для добувних та каротажних нафтогазових компаній. Важливим фактором є те, що українські розробники володіють необхідним набором ідей і ноу-хау та мають всі можливості для вдосконалення розробки і її подальшого серійного випуску.

Список використаних джерел

Звольський, С.Т., Кулик, В.В., Кармазенко, В.В., Кетов, А.Ю., Рибак, В.І., Сніжко, Ю.О. (2008) Спосіб виготовлення фізичних моделей пластів-колекторів, перетнутих свердловиною. *Патент України на винахід № 84604.* ІГФ НАНУ.

Кузнецов, О.Л., Поляченко, А.Л. (Ред.). (1990). Скважинная ядерная геофизика. Справочник геофизика. 2-е изд. Москва: Недра.

Кулик, В.В., Бондаренко, М.С. (2005). Можливість визначення коефіцієнта нафтонасиченості за допомогою узгодженого комплексу стаціонарних нейтронних методів. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 34-35, 29-33.

Кулик, В.В., Бондаренко, М.С. (2010). Спосіб визначення загальної пористості глинистих гірських порід в обсаджених і необсаджених свердловинах. *Патент України на винахід № 90301*. ІГФ НАНУ.

Кулик, В.В., Бондаренко, М.С., Дейнеко, С.І. (2015). Спосіб визначення параметрів глинистості гірських порід комплексом радіоактивного каротажу. *Патент України на винахід № 109230*. ІГФ НАНУ.

Кулик, В.В., Бондаренко, М.С., Кривонос, О.М. (2014). Спосіб визначення параметрів газоносних колекторів. *Патент України на винахід № 106560.* ІГФ НАНУ.

Модуль 2ННКт-LWD. Руководство по эксплуатации. (2014). Отримано з http://ukrspecpribor.com.ua.

Прибор 2ННК-ГГКлп-LWD-121. (2014). Отримано з http://power-np.ru/2nnk-ggklp-lwd.

Хаматдинов, Р.Т., Еникеева, Ф.Х, Велижанин, В.А., Журавлев, Б.К., Зотов, А.Ф., Головацкий, С.Ю., Жуков, А.М., Гольдштейн, Л.М., Семенов, Е.В. (1989). Методические указания по проведению нейтронного и гамма-каротажа в нефтяных и газовых скважинах аппаратурой СРК и обработке результатов измерений. Калинин: НПО "Союзпромгеофизика".

Allen, D., Dergt, D., Best, D., Clark, B., Falkoner, I. (1989). Logging while drilling. *Oilfield review*, April, 4-17.

Bondarenko, M., Kulyk, V. (2017). Determination of basic gas reservoir parameters from radioactive logging taking into account PT-conditions. *NAFTA-GAZ*, 3, 11-17. doi: 10.18668/NG.2017.03.

Bonner, S., Clark, B., Holenka, J., Voisin, B., Dusang, J. (1992). Logging While drilling: a three-year perspective. *Oilfield review*, July, 4-21.

Ellis, D.V., Singer, J.M. (2008). Well Logging for Earth Scientists. 2nd ed. Dordrecht: Springer.

Hill, D., Neme, E., Ehlig-Economides, C., Mollinedo, M. (1996). Reentry drilling gives new life to aging fields. *Oilfield review*, Autumn, 4-17.

Logging-While-Drilling Azimuthal Density Neutron Tool. (2003). Отримано з http://www.odplegacy.org/pdf/operations/ engineering/logging_tools/lwd-adn.pdf.

References

Allen, D., Dergt, D., Best, D., Clark, B., Falkoner, I. (1989). Logging while drilling. *Oilfield review*, April, 4-17.

Bondarenko, M., Kulyk, V. (2017). Determination of basic gas reservoir parameters from radioactive logging taking into account PT-conditions. *NAFTA-GAZ*, 3, 11-17. doi: 10.18668/NG.2017.03.

Bonner, S., Clark, B., Holenka, J., Voisin, B., Dusang, J. (1992). Logging While drilling: a three-year perspective. *Oilfield review*, July, 4-21.

Ellis, D.V., Singer, J.M. (2008). Well Logging for Earth Scientists. 2nd ed. Dordrecht: Springer.

Hill, D., Neme, E., Ehlig-Economides, C., Mollinedo, M. (1996). Reentry drilling gives new life to aging fields. *Oilfield review*, Autumn, 4-17.

Khamatdinov, R.T., Enikeeva, F.Kh., Velizhanin, V.A., Zhuravlev, B.K., Zotov, A.F., Golovatsky, S.Yu., Zhukov, A.M., Goldstein, L.M., Semenov, E.V. (1989). Methodical instruction for neutron and gamma-ray logging in oil and gas wells with the SRK tool and processing of measured results. Kalinin: NPO "Soyuzpromgeofizika". [in Russian]

Kulyk, V.V., Bondarenko, M.S (2010). Method for determination of total porosity of shaliness rocks in cased and open boreholes. *UA patent for invention № 90301*. Kyiv: Ukrpatent. [in Ukrainian].

Kulyk, V.V., Bondarenko, M.S (2005). The feasibility to determine of oil saturation using a coordinated complex of stationary neutron methods. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 34-35, 29-33. [in Ukrainian].

Kulyk, V.V., Bondarenko, M.S, Deineko, S.I. (2015). Method for determination of shaliness parameters of rocks by complex of radioactive logging methods. *UA patent for invention № 109230*. Kyiv: Ukrpatent. [in Ukrainian].

Kulyk, V.V., Bondarenko, M.S, Kryvonos, O.M. (2014). Method for determination of parameters of gas reservoirs. *UA patent for invention № 106560.* Kyiv: Ukrpatent. [in Ukrainian]

Kuznetsov, O.L., Poliachenko, A.L. (Eds.). (1990). Well logging nuclear geophysics. Geophysicist's handbook. Moscow: Nedra. [in Russian]

Logging-While-Drilling Azimuthal Density Neutron Tool. (2003). Retrieved from http://www.odplegacy.org/pdf/operations/engineering/logging_tools/lwd-adn.pdf.

Module 2NNKt-LWD. Operating manual (2014). Retrieved from http://ukrspecpribor.com.ua.

Tool 2NNK-GGK*lp*-LWD-121. (2014). Retrieved from http://power-np.ru/2nnk-ggklp-lwd. [in Russian]

Zvolskyi, S.T., Kulyk, V.V., Karmazenko, V.V., Ketov, A.Yu., Rybak, V.I., Snizhko, Yu.O. (2008). Method of production of physical models of reservoirs with borehole. *UA patent for invention № 84604.* Kyiv: Ukrpatent. [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 21.02.19

M. Bondarenko, PhD (Geol.), Senior Researcher;
V. Kulyk, PhD (Phys.-Math.), Leading Researcher
E-mail: vkulyk@igph.kiev.ua;
Z. Yevstakhevych, Leading Engineer;
Institute of Geophysics National Academy of Sciences of Ukraine,
32 Palladin Ave., Kyiv, 03680, Ukraine;
S. Danyliv, Director;
V. Zinenko, Leading Electronic Engineer;
M. Los, Leading Design Engineer;
E-mail: info@ukrspecpribor.com.ua,
LLC "Ukrspecpribor", 5 Zapadynska str., Kyiv, 04123, Ukraine

APPARATUS AND METHODICAL COMPLEX FOR DETERMINATION OF OIL-GAS RESERVOIRS PARAMETERS WHILE DRILLING HORIZONTAL WELLS

The paper is devoted to the basic principles of the trend of logging, namely logging while drilling (LWD), which is new for Ukraine. The LWD technology has a number of advantages over other logging types, in particular, in supplementary exploration and production of hydrocarbons in fields that are in long-term development. In this case, the drilling of horizontal wells, which by productivity is much higher than the vertical ones, is important.

For the investigations of horizontal wells, we proposed a universal compact radioactive logging tool with small diameter, which is placed in entire drill collar just before drilling. The combined radioactive logging tool LWD-КПРК-48 (48 mm in diameter) contains dual-spacing modules of neutron logging, neutron-gamma logging, density logging, as well as separately placed gamma-logging unit. Calibration works with the developed combined tool were carried out on physical models of reservoirs in the presence of drill collars and corresponding calibration dependences on porosity and density were obtained. They, together with the developed methods and other data, allow us to determine an extended set of petrophysical parameters, namely, the porosity of water-, oil- and gas-saturated reservoirs, the identification parameters of fluid: water – oil and water – gas, oil-, gas- and water saturation, volume content of oil and gas, etc.

Test of a logging tool LWD-КПРК-48 when drilling a horizontal well in an oil-bearing bed showed high informativity and efficiency of product. The created apparatus and methodical complex for the investigation of horizontal oil and gas wells while drilling has several advantages over known analogues, in particular, is universal, convenient, more available to mining and well logging oil and gas companies.

Keywords: logging while drilling, horizontal wells, oil and gas reservoirs, combined radioactive logging tool, interpretating-methodical support, petrophysical parameters.

М. Бондаренко, канд. геол. наук, ст. науч. сотруд.;
В. Кулик, канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотруд.
E-mail: vkulyk@igph.kiev.ua;
З. Евстахевич, вед. инж.;
Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины,
пр. Палладина, 32, Киев-142, 03680, Украина;
С. Данылив, директор;
В. Зиненко, вед. инженер-электронщик;
М. Лось, вед. инженер-конструктор;
E-mail: info@ukrspecpribor.com.ua,
ООО "Укрспецприбор", ул. Западынская, 5, г. Киев, 04123, Украина

АППАРАТУРНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ НЕФТЕГАЗОВЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН

Рассмотрены основные положения нового для Украины направления геофизических исследований в скважинах (ГИС) – каротаж в процессе бурения (logging while drilling – LWD). Технология LWD имеет ряд преимуществ перед другими видами ГИС, в частности, при доразведке и добыче углеводородов на месторождениях, которые находятся в длительной эксплуатации. При этом важное значение имеет бурение горизонтальных скважин, которые по продуктивности значительно превосходят вертикальные.

Для исследования горизонтальных скважин нами предложен универсальный компактный прибор радиоактивного каротажа малого диаметра, который устанавливают в цельной бурильной трубе непосредственно перед бурением. Комбинированный прибор LWD-КПРК-48 (диаметром 48 мм) содержит двухзондовые устройства нейтрон-нейтронного, нейтрон-гамма и плотностного гамма-гамма каротажа и размещенный отдельно блок гамма-каротажа. С созданным комбинированным прибором проведены градуировочные работы на физических моделях пластов-коллекторов при наличии бурильных труб и построены соответствующие градуировочные зависимости от пористости и плотности. На основе градуировочных зависимостей получены калибровочные (интерпретационные) функции, которые вместе с разработанными способами и другими данными позволяют определять расширенную совокупность петрофизических параметров, а именно пористость водо-, нефте- и газонасыщенных коллекторов, параметры идентификации флюида: вода – нефть и вода – газ, коэффициенты нефте-, газо- и водонасыщенности, объемное содержание нефти, газа и др.

Испытания каротажного прибора LWD-КПРК-48 при бурении горизонтальной скважины в нефтеносном пласте показали высокую информативность и дееспособность разработки. Созданный аппаратурно-методический комплекс для исследования горизонтальных нефтегазовых скважин в процессе их бурения имеет ряд преимуществ перед известными аналогами, в частности, является универсальным, удобным, более доступным для добывающих и каротажных нефтегазовых компаний.

Ключевые слова: каротаж в процессе бурения, горизонтальные скважины, нефтегазовые коллекторы, комбинированный прибор радиоактивного каротажа, интерпретационно-методическое обеспечение, петрофизические параметры.