

**ВИЗНАЧЕННЯ ПЕТРОФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НАФТОГАЗОВИХ КОЛЕКТОРІВ
ЗА ДАНИМИ КАРОТАЖУ В ПРОЦЕСІ БУРІННЯ
З ВИКОРИСТАННЯМ КОМБІНОВАНОГО ПРИЛАДУ
LWD-КПРК-48**

**Особливості застосування і технічні характеристики приладу,
елементи інтерпретаційно-методичного забезпечення,
результати свердловинних випробувань**



Універсальний комбінований прилад радіоактивного каротажу LWD-КПРК-48

(LWD, *англ.* logging while drilling – каротаж в процесі буріння, діаметр 48 мм)

Призначення приладу – визначення петрофізичних параметрів нафтогазових колекторів в процесі буріння свердловин.

Універсальність: 1) вимірювання через цільні бурильні труби різного діаметра з різною товщиною стінок; 2) визначення сукупності параметрів за допомогою комплексу РК

Використовувані джерела: γ -квантів – ^{60}Co (активність до $\sim 0,14$ Кі, потужність $\sim 1 \cdot 10^{10}$ γ -кв./сек) , нейтронів – $^{238}\text{PuBe}$ або AmBe (активність до $\sim 6,5$ Кі, потужність $\sim 1,0 \cdot 10^7$ нейтр./сек)

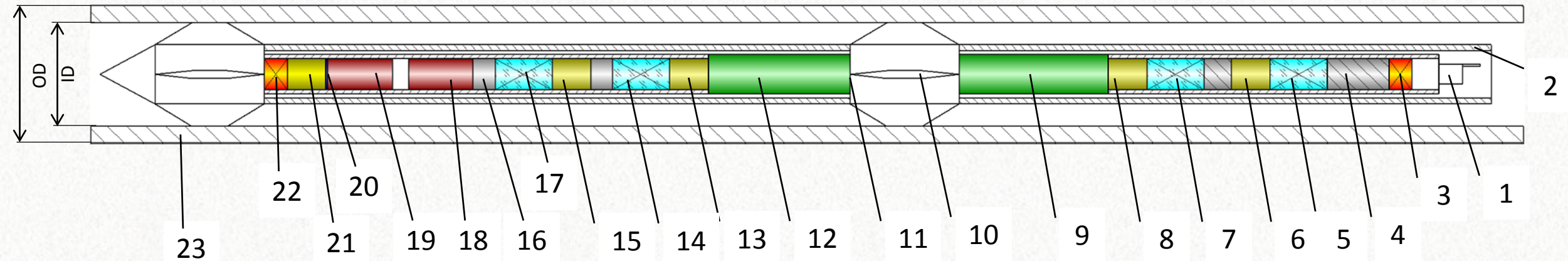
Прилад складається з двох модулів: 2ГГК+ГК+ГГ-к і 2ННК+2НГК

а) Модуль 2ГГК+ГК+ГГ-к:

- два зонди густинного гамма-гамма каротажу (2ГГК),
- зонд інтегрального гамма-каротажу (ГК), він же вимірювач фону для детекторів ГГК і НГК,
- зонд ГГ-каверноміра (ГГ-к).

б) Модуль 2ННК+2НГК:

- два зонди нейтрон-нейтронного каротажу по теплових нейтронах (2ННК),
- два зонди нейтрон-гамма каротажу (2НГК).

Схема конструкції свердловинного приладу LWD-КПРК-48 (2ННК-2НГК-2ГГКг)


- 1 – Роз'єм верхній
- 2 – Охоронний кожух модулів
- 3 – Джерело гамма-квантів
- 4 – Захисні екрани ГГКг
- 5 – Сцинтиляційний кристал М3 ГГКг
- 6 – ФЕП М3 ГГКг
- 7 – Сцинтиляційний кристал Б3 ГГКг
- 8 – ФЕП Б3 ГГКп
- 9 – Блок електроніки ГГКг
- 10 – Центратор
- 11 – Місце роз'єма модулів
- 12 – Блок електроніки ННК-НГК
- 13 – ФЕП Б3 НГК

- 14 – Сцинтиляційний кристал Б3 НГК
- 15 – ФЕП М3 НГК
- 16 – Захисні екрани НГК
- 17 – Сцинтиляційний кристал М3 НГК
- 18 – Лічильник нейтронів Б3 ННК
- 19 – Лічильник нейтронів М3 ННК
- 20 – Екран теплових нейтронів
- 21 – Екран
- 22 – Джерело швидких нейтронів
- 23 – Бурильна труба (БТ)
- OD – Зовнішній діаметр (outer diameter) БТ
- ID – Внутрішній діаметр (inner diameter) БТ

Технічні характеристики приладу LWD-КПРК-48

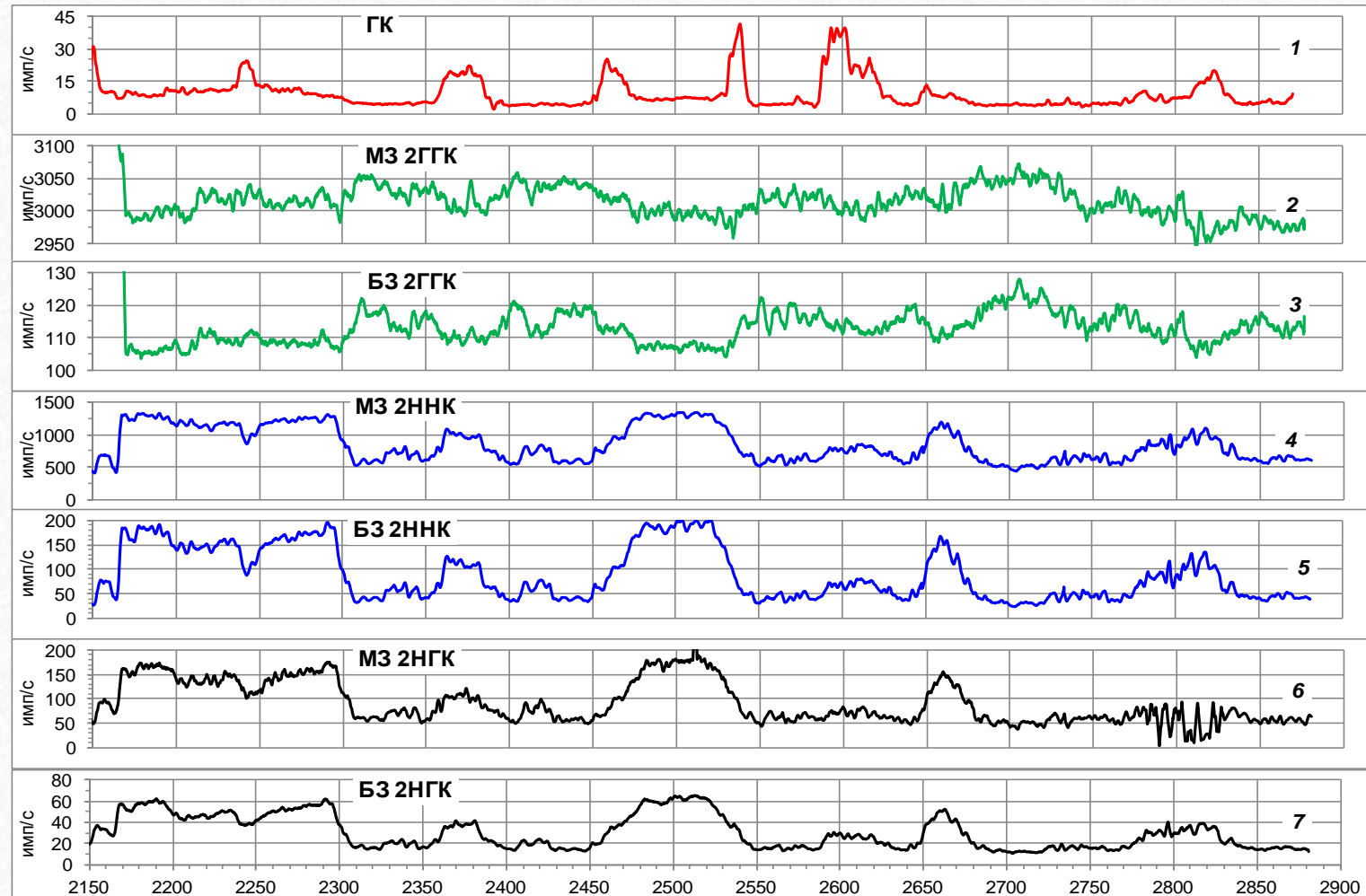
Характеристика	Номінальне значення	Одиниця вимірювання
Діаметр кожуха	48	мм
Загальна довжина приладу	4400	мм
Загальна вага приладу	25	кг
Довжина модуля 2ГГК+ГК+ГГ-к	2150	мм
Довжина модуля 2ННК+2НГК	2250	мм
Діапазон робочої температури	-30 ÷ +150	°С
Максимальний гідростатичний тиск	80	МПа
Діаметр досліджуваних свердловин	120 – 220	мм
Діаметр бурильних труб	99, 120, 132...	мм
Діапазон зміни густини бурового розчину (за нормальних умов)	~ 1,1 ÷ 1,5	г/см ³
Автономне електроживлення (батареї) :		
номінальна напруга	36	В
діапазон напруги живлення	20÷40	В
постійний струм, що споживається	0,15	мА
Час встановлення робочого режиму, не більше	3	хв
Кількість каналів реєстрації	8	шт.
Кількість безпосередньо вимірюваних параметрів	3	шт.
Кількість визначуваних петрофізичних параметрів	~ 10	шт.

Величини, що реєструються LWD-КПРК-48 і зберігаються в пам'яті приладу

1. Швидкість лічби на зонді ГК (він же вимірювач γ -фону) - крива 1;
2. Швидкість лічби на меншому зонді пристрою 2ГГК (крива 2);
3. Швидкість лічби на більшому зонді пристрою 2ГГК (3);
4. Швидкість лічби на меншому зонді пристрою 2ННК (4);
5. Швидкість лічби на більшому зонді пристрою 2ННК (5);
6. Швидкість лічби на меншому зонді пристрою 2НГК (6);
7. Швидкість лічби на більшому зонді пристрою 2НГК (7);
8. Швидкість лічби на зонді ГГ-каверноміра.

ГК – інтегральний гамма-каротаж
 2ГГКп – двозондовий гамма-гамма каротаж густинний
 2ННК – двозондовий нейтрон-нейтронний каротаж за тепловими нейтронами
 2НГК – двозондовий нейтрон-гамма каротаж
 1НГК – однозондовий нейтрон-гамма каротаж

Приклад запису приладом LWD-КПРК-48 у горизонтальній свердловині
 ($d_{CB} = 152$ мм, $d_{BT} = 121$ мм)



Параметри по LWD-КПРК-48, які передаються по телеметрії* в реальному часі

Параметр	Метод	Діапазон вимірювання параметра	Абсолютна похибка
Загальна густина	2ГГК+НГК	1,70 – 3,00 г/см ³	± 0,025 г/см ³
Нейтронна пористість	ННК	0 – 40%	± 0,5 % абс. при $k_n < 10\%$; ± (0,5 ÷ 2 %) при $10\% < k_n < 40\%$
Потужність експозиційної дози природного випромінювання	ГК**	0 – 250 мкР/годину	± (1 ÷ 2) мкР/годину

* – набір параметрів, що передаються, може варіюватися в залежності від вирішуваної задачі

** – показання ГК, як правило, передаються з системи MWD.



Приклад параметрів, що визначаються за допомогою приладу LWD-КПРК-48 і передаються по телеметрії
Горизонтальна свердловина ($d_{св} = 152$ мм, $d_{БТ} = 121$ мм)

Параметри колекторів за комплексом методів РК, реалізованих в приладі LWD-КПРК-48, при каротажі в процесі буріння нафтогазових свердловин

1. Параметри, що передаються по телеметрії в реальному часі

- 1.1. Загальна густина за ГГК+НГК
- 1.2. Нейтронна пористість за ННК
- 1.3. Потужність експозиційної дози природного гамма-випромінювання за ГК

2. Деталізовані (крок квантування за глибиною від 5 см) і уточнені (за вплив свердловинних умов та ін.) параметри, за даними з пам'яті приладу

- 2.1. Загальна густина за ГГК
- 2.2. Нейтронна пористість за ННК
- 2.3. Природна радіоактивність гірських порід (ГК – в одиницях API, ПЕД, імп/с)

3. Розраховані параметри, які визначаються за даними повного запису комплексу ННК+НГК+ГГК+ГК з пам'яті приладу

- 3.1. Загальна густина
- 3.2. Параметри глинистості
 - 3.2.1. Загальна глинистість
 - 3.2.2. Вміст глинистих мінералів
- 3.3. Загальна пористість водо- і нафтонасичених колекторів (вплив глинистості, бітумінозності та ін.)
- 3.4. Параметри ідентифікації характеру насичення
 - «вода – газ»
 - «вода – нафта»

4. Параметри з врахуванням апріорних даних по конкретному родовищу (мінералізація пластової води, пластовий тиск і т.д.)

- 4.1. Густина твердої фази колекторів (для уточнення літології)
- 4.2. Пористість газонасичених колекторів
- 4.3. Коефіцієнти газонасиченості і нафтонасиченості
- 4.4. Об'ємний вміст вуглеводнів
- 4.5. Визначення кавернозності стінки свердловини (методика на стадії відладки)

Інтерпретаційно-методичне забезпечення приладу LWD-КПРК-48

Градування приладу LWD-КПРК-48 виконано на кількох комплектах повномасштабних фізичних моделей (ТОВ «Укрспецгеологія», Інститут геофізики НАН України та ін.).

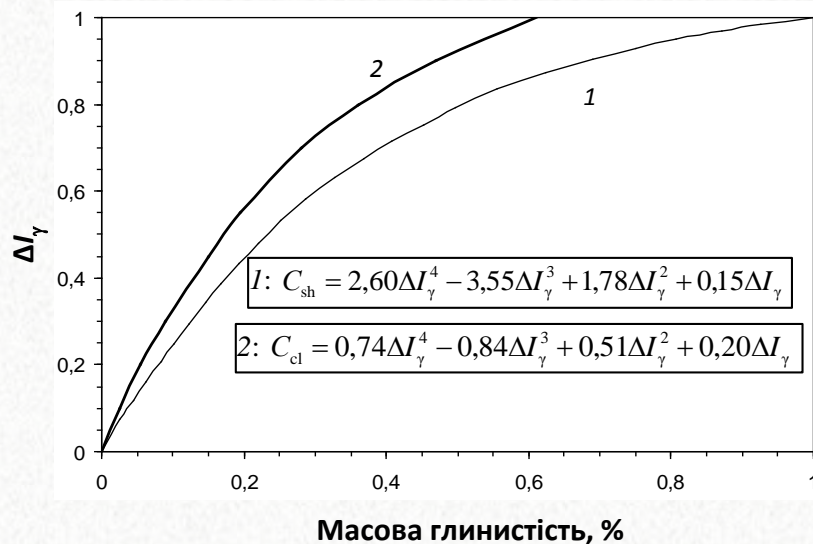
Градувальні залежності і відповідні калібрувальні функції є індивідуальними для конкретного екземпляра приладу.

Калібрувальні функції можуть бути адаптовані до конкретних свердловинних і технічних умов проведення LWD.

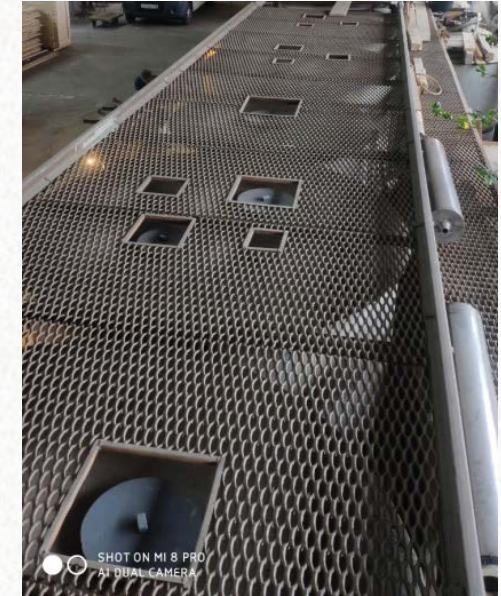
Контроль стабільності роботи 2ННК, 2НГК і 2ГГК виконується за допомогою портативного переносного контрольного пристрою до і після кожного спуску в свердловину

Визначення глинистості за ГК

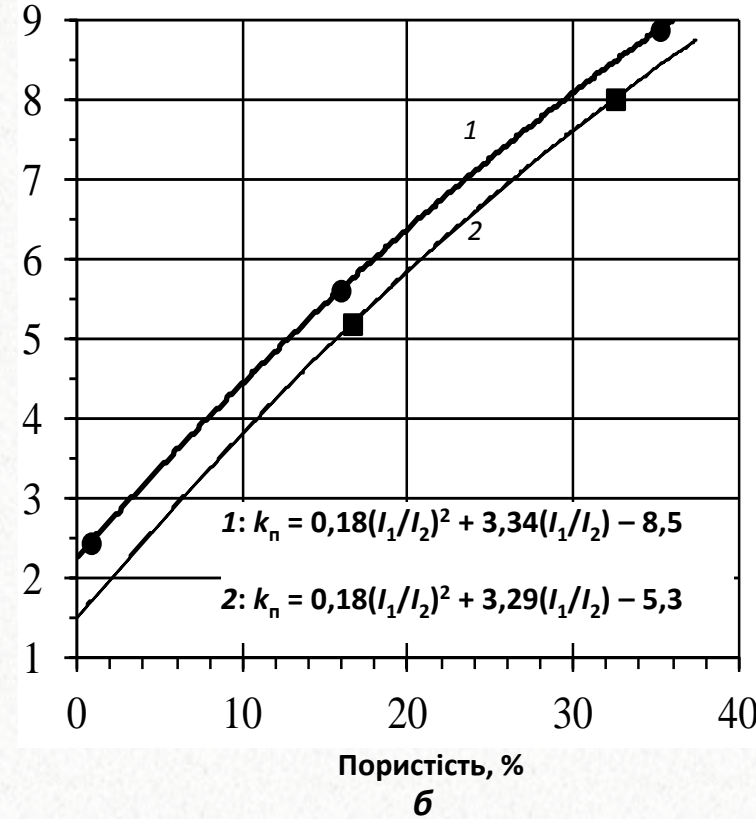
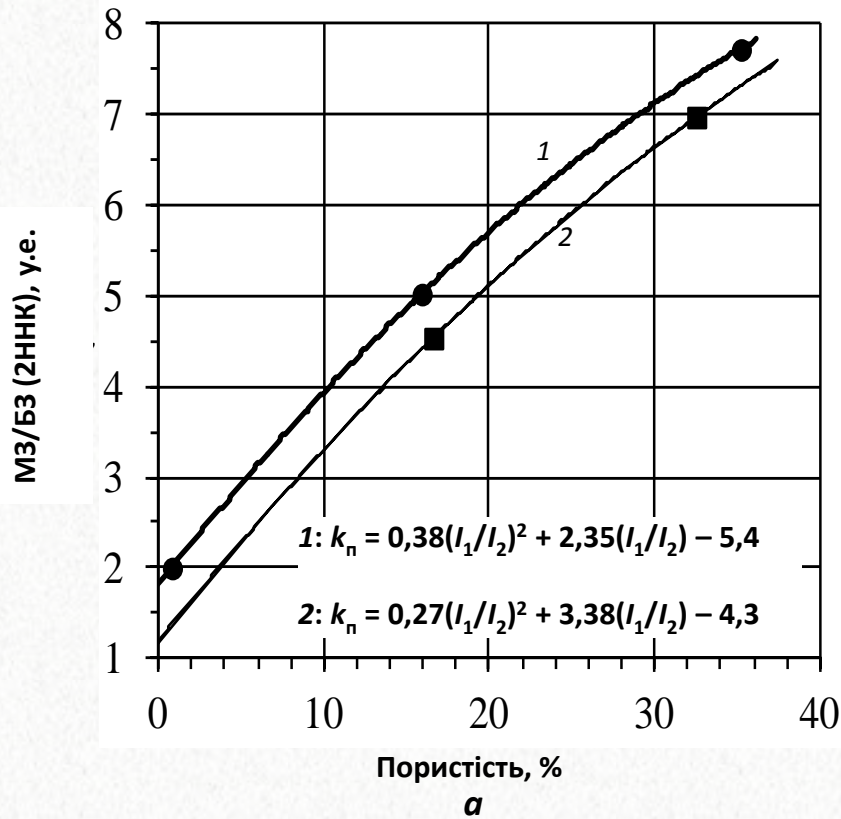
Градувальні залежності та калібрувальні функції



- 1 – масова загальна глинистість (shale)
- 2 – масовий вміст глинистих мінералів (clay)



Визначення нейтронної пористості за відношенням зондів 2ННК Градуювальні залежності і калібрувальні функції

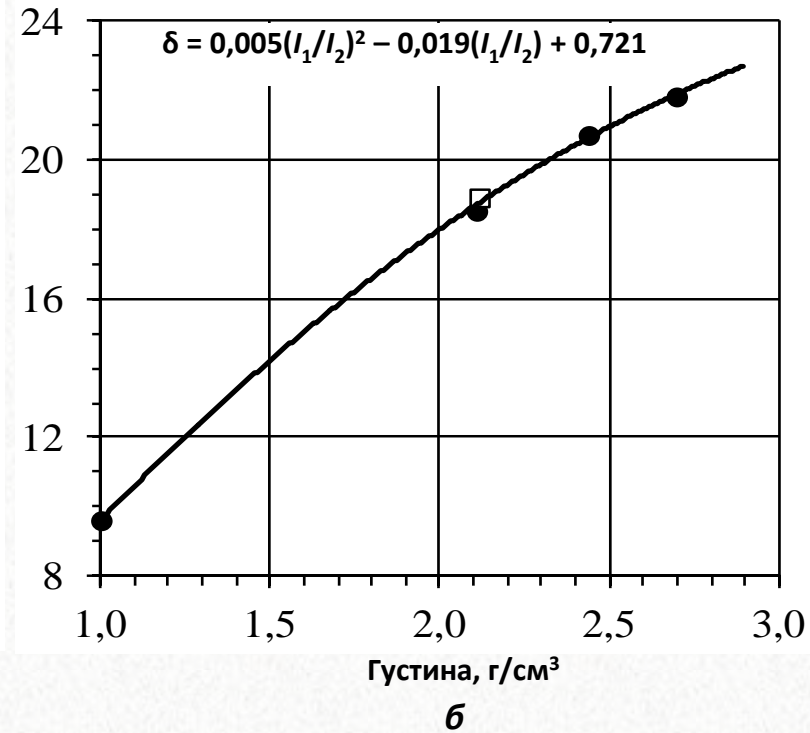
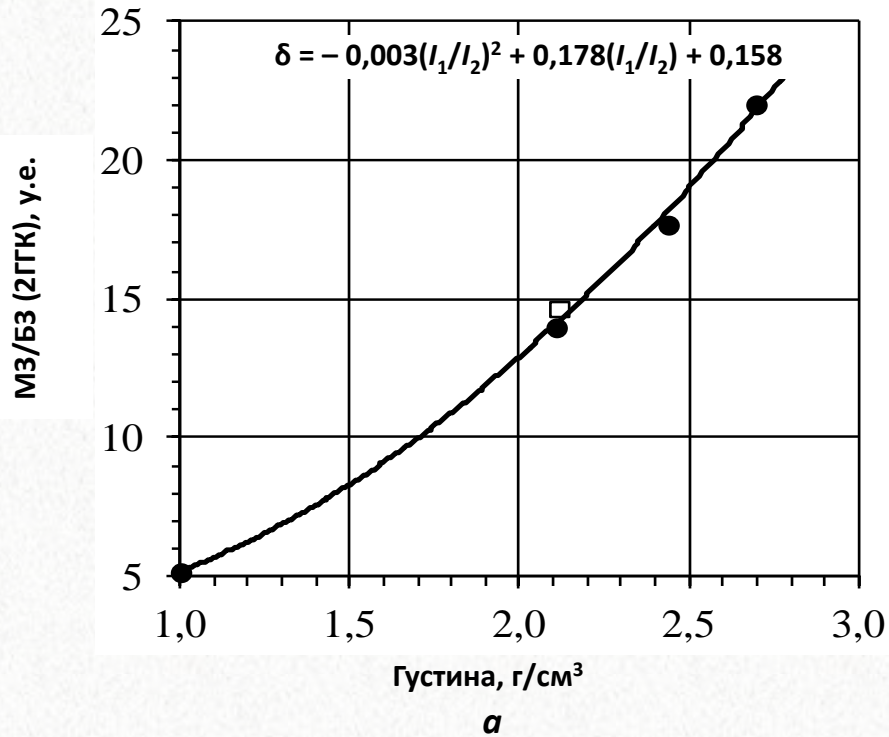


Врахування основних геологічних і технічних факторів при визначення пористості за 2ННК
Літологія – відома з апіорних даних; КФ для 2ННК вибирається для відповідної літології
Глинистість – враховується за допомогою гамма-каротажу і апіорних даних про глинисті мінерали
Мінералізація пластових вод, густина і мінералізація бурового розчину, товщина бурильних труб
 – практично не впливають завдяки компенсуючим властивостям відношення зондів МЗ/БЗ 2ННК
 Відношення зондів 2ННК не залежить від **потужності джерела нейтронів**

Шифр кривих: 1 – вапняк, 2 – пісковик
 а) діаметр свердловини 124 мм, бурильна труба 99×15
 б) діаметр свердловини 156 мм, бурильна труба 120×25

Визначення густини за 2ГГК

Градуювальні залежності і калібрувальні функції



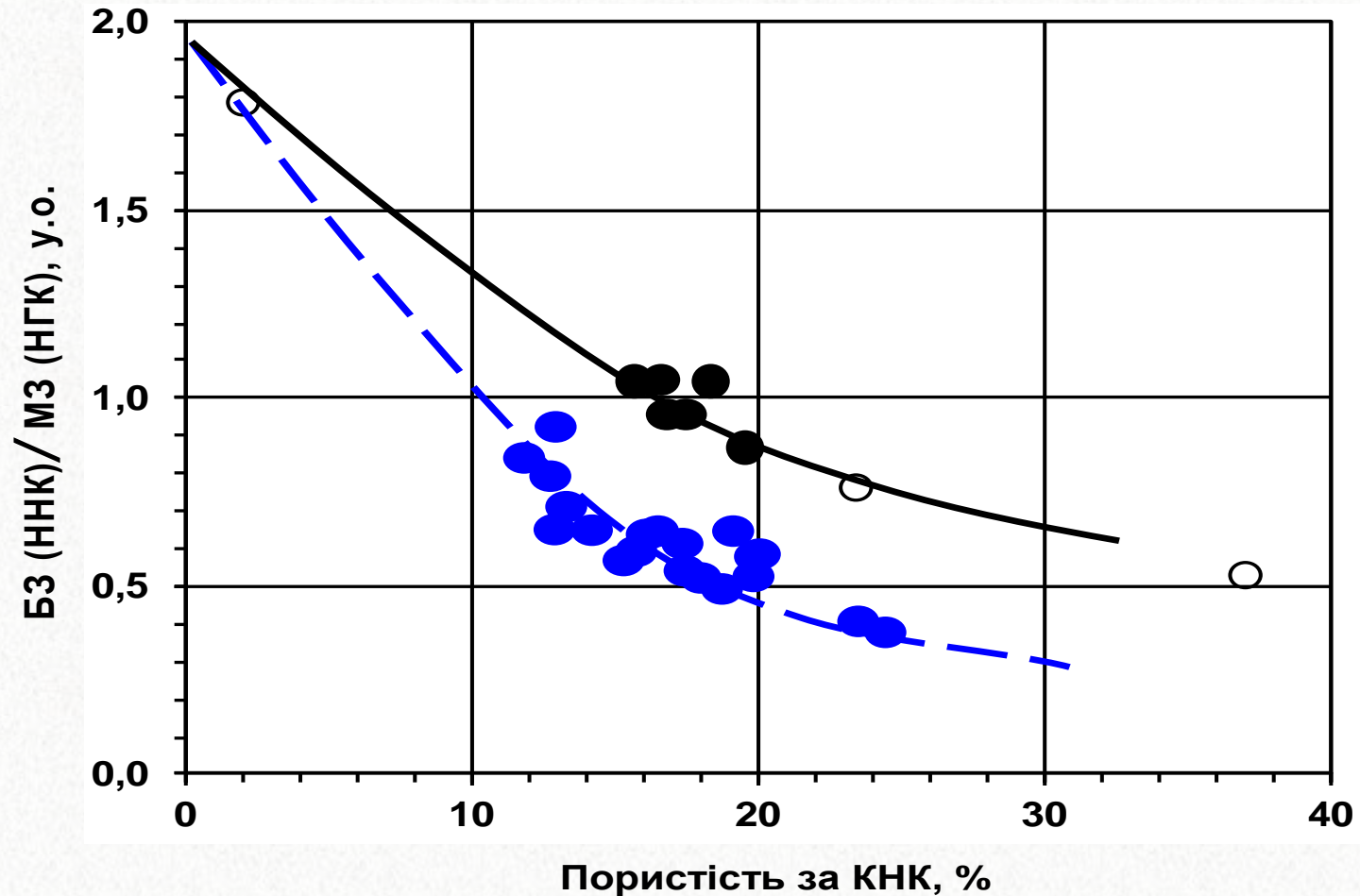
● – вапняк, □ – пісковик

- а) діаметр свердловини 124 мм, бурильна труба 99×15
 б) діаметр свердловини 156 мм, бурильна труба 120×25

Врахування основних геологічних і технічних факторів при визначенні густини за 2ГГК

Літологія – практично не впливає
 Глинистість – практично не впливає
Мінералізація пластового флюїду і мінералізація бурового розчину – практично не впливають
Густина бурового розчину, товщина бурильних труб, діаметр свердловини – частково компенсуються при використанні відношення МЗ/БЗ 2ГГК; за необхідності додатково враховуються при калібрувці
 Відношення зондів 2ГГК не залежить від **потужності джерела γ-квантів**

Приклади. Картаж в процесі буріння. Прилад LWD-КПРК-48



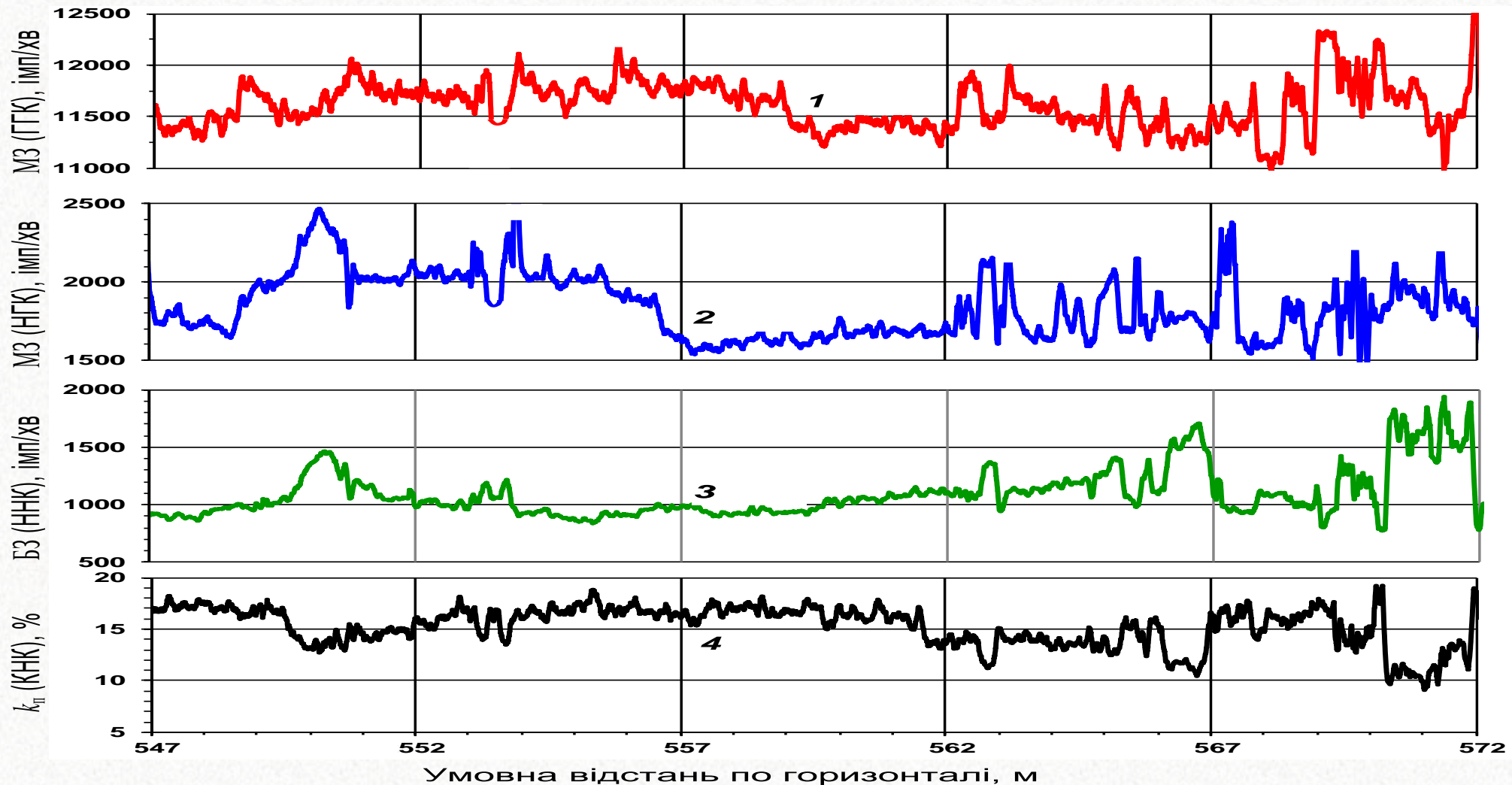
Оцінка характеру насичення в горизонтальній свердловині (ДДЗ, Полт. обл.)

Поінтервальний кросплот: пористість за 2ННК ↔ відношення показань БЗ(ННК)/МЗ(НГК),

● – нафта; ● – вода; ○ – фізичні моделі пластів-колекторів, насичені прісною водою

--- – лінія мінералізованої води ($C_{NaCl} \sim 150$ г/л); — — — – лінія нафти (прісної води)

Приклади. Картаж в процесі буріння. Свердловина №1. Прилад LWD-КПРК-48



Результати каротажу в процесі буріння горизонтальної свердловини №1 (ДДЗ, Полтавська обл.). $d_{CB} = 156\text{мм}$, $d_{BT} = 120\text{мм}$.
 1 – показання меншого зонда ГГК, 2 – показання меншого зонда НГК, 3 – показання більшого зонда ННК, 4 – пористість за способом 2ННК.

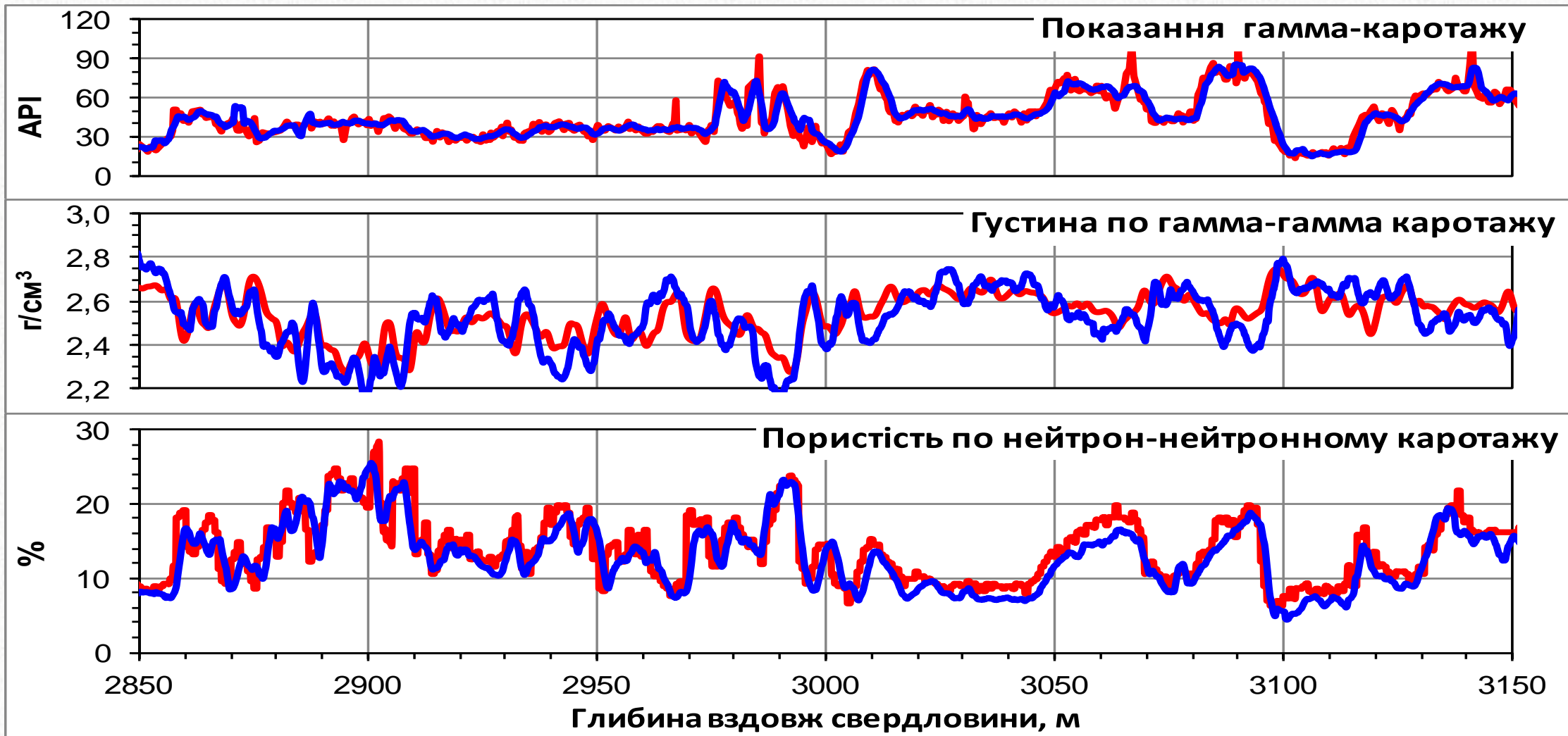
Приклади. Каротаж в процесі буріння. Свердловина №2. Прилад LWD-КПРК-48



Результати каротажу в процесі буріння горизонтальної свердловини №2 ($d_{\text{св}} = 156\text{мм}$, $d_{\text{БТ}} = 120\text{мм}$).

- комплексний прилад LWD-КПРК-48 (каротаж в процесі буріння через товстостінну бурильну трубу)
- технологія PEX (Schlumberger), каротаж у відкритому стволі

Приклади. Картаж в процесі буріння. Свердловина №3. Прилад LWD-КПРК-48

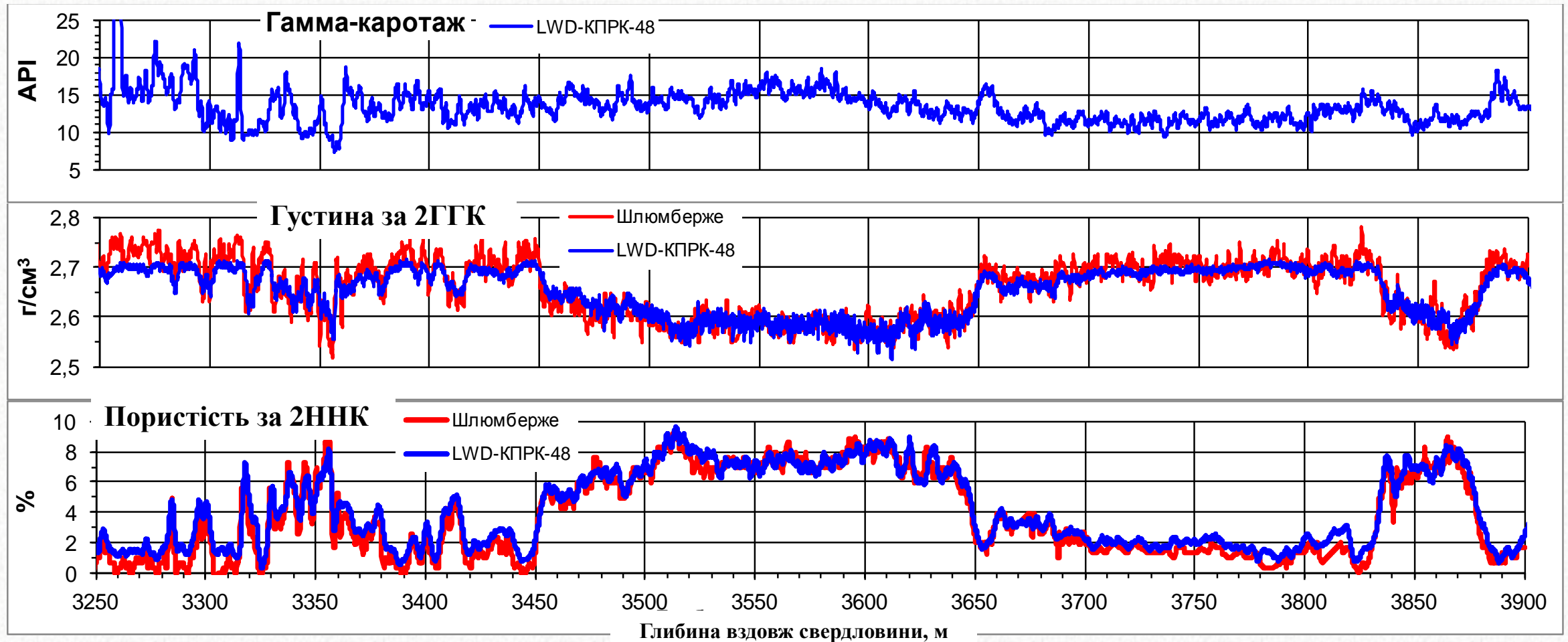


Результати каротажу в процесі буріння горизонтальної свердловини №3 ($d_{\text{св}} = 156\text{мм}$, $d_{\text{БТ}} = 120\text{мм}$).

— комплексний прилад LWD-КПРК-48 (картаж в процесі буріння через товстостінну бурильну трубу)

— технологія АМК "Горизонт" (Schlumberger), картаж у відкритому стволі

Приклади. Каротаж в процесі буріння. Свердловина №4. Прилад LWD-КПРК-48



Результати каротажу в процесі буріння горизонтальної свердловини №4 ($d_{cb} = 156\text{мм}$, $d_{BT} = 120\text{мм}$).

- комплексний прилад LWD-КПРК-48 (каротаж в процесі буріння через товстостінну бурильну трубу)
- технологія PEX (Schlumberger), каротаж у відкритому стволі



Після проведення науково-дослідних робіт та лабораторних і польових випробувань був отриманий патент України на винахід – **МОДУЛЬ РАДІОАКТИВНОГО КАРОТАЖУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ НАФТОГАЗОВИХ КОЛЕКТОРІВ В ПРОЦЕСІ БУРІННЯ**