

УДК 553.048

DOI <https://doi.org/10.30970/vgl.40.10>

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОВЕДЕННЯ РОЗШИРЕННОГО КОМПЛЕКСУ ГЕОЛОГО-ГЕОХІМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ГЕОНАВІГАЦІЇ ПРИ БУРІННІ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ СВЕРДЛОВИН

Лев Ємець

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. М. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: Lev.emets11@gmail.com*

Геолого-геохімічні та технологічні дослідження в процесі буріння (mudlogging або газовий каротаж) був запроваджений як комерційна послуга у 1939 році. Ця послуга забезпечує безперервний технологічний контроль параметрів буріння, виявлення та оцінку шламу гірських порід оперативного під час буріння, з метою їхньої кореляції та визначення потенціалу видобутку вуглеводнів. Якісні методи отримання цих даних та їх подальша оцінка є надзвичайно важливими факторами у пошуково-розвідувальному та експлуатаційному бурінні. Необхідності та ефективності набуває буріння горизонтальних ділянок свердловин.

Горизонтальна ділянка свердловини пробурюється на певну глибину в цільовому пласті, що збільшує площу контакту з нафтогазовим пластом. Основною метою горизонтальної свердловини є збільшення видобутку нафти та газу або підвищення коефіцієнта видобутку нафти та газу. З розвитком горизонтальних свердловин сланцевого газу, розвитком технологій буріння та попитом на більш точний аналіз колектора, а також попитом на підвищення якості, ефективності та зниження витрат, інтеграція моделей горизонтального буріння набуває поширення. Газовий каротаж, поелементний склад порід та геонавігація є невід'ємною ланкою досліджень при бурінні і ґрунтуються на нафтогазовій геології. Викладено розвиток кожного аспекту та проаналізовано зв'язки між ними в практичному застосуванні з метою внеску у розвідку та розробку нафтогазових родовищ.

Ключові слова: горизонтальна свердловина, газовий каротаж, геонавігація, елементи.

Постановка проблеми. Під час буріння горизонтального стовбуру основним технічним інструментом залишається аналіз у реальному часі за допомогою комбінації даних вибуреної породи (шламу), часу буріння, аналізу щільних карбонатних порід, поелементного аналізу, виявлення вуглеводневого газу та даних супутнього каротажу (MWD та LWD), з урахуванням нахилу пласта, орієнтації пласта, варіації товщини цільового горизонту та якості свердловини. В процесі досліджень на ділянці горизонтального стовбуру проводиться реєстрація технологічних та геохімічних параметрів в режимі реального часу з паралельним виводом цих онлайн на буровій для інженерного складу та офіс. У процесі буріння свердловини проводиться реєстрація технологічних параметрів буріння і їх обробка, вмісту та складу вуглеводнів в буровому розчині, аналіз шламу вибуреної породи. Літологічне розчленування порід здійснюється в основному по детальному механічному каротажу (ДМК), аналізу складу газу в буровому розчині і дослідженню шламу. На ділянці горизонтального стовбуру проводяться деталізовані геолого-геохімічні дослідження із залученням додаткового обладнання. Зразки шламу в процесі буріння відбираються кожні

© Ємець Л., 2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

10 м в непродуктивній частині, через кожні 3 м в продуктивній частині, та через 1 м в продуктивних пластах (з підвищеними газопоказами), через 2 м в горизонтальному стовбурі у зв'язку з високою швидкістю розкриття розрizu.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. При замовленні послуг на виконання геолого-технологічних та геолого-геохімічних досліджень (ГТГД) формується технічне завдання з переліком проведення необхідних досліджень по конкретній свердловині, із конкретними задачами. Зазвичай це стандартні дослідження в технічній і геологічній частині, які застосовуються при бурінні вертикальних та похило-скерованих свердловин. Але в горизонтальних свердловинах підхід до досліджень має бути більш розширений і повноцінний, оскільки по стовбуру притаманна мінливість у фільтраційно-ємнісних характеристиках колектора. Розширений комплекс досліджень допоможе визначитись із інтервалами вторинного розкриття (перфорацією) в більш ефективних зонах пласта і запроєктувати найбільш ефективні інтервали проведення гідророзриву пласта (ГРП). Тому обов'язково, перед початком робіт, у технічному завданні мають зазначатись і, в подальшому, виконуватись методи рентгенівської дифракції (XRD) та рентгенівської флуоресценції (XRF) часто називають каротажем XRD або XRF. Відбір проб пластового газу під час буріння без зупинки реєстрації газопоказів у ємності IsoTube або аналоги. Проби газу відбираються під час буріння тільки з пластового газу. В комплексі: проведення детального поелементного аналізу та геонавігація.

Мета. Геологічне закладання горизонтальних свердловин базується на сейсмічних, геофізичних, результатів сусідніх свердловин та інших даних, з метою моніторингу і моделювання структури пластів і колекторів. Тому дуже важливо підійти до комплексного аналізу проведення досліджень, де прогнозування відбувається в режимі реального часу. Ефективність такого комплексу: коригування траєкторії свердловини, повідомлення про коригування траєкторії свердловини в режимі реального часу команді буріння, наведення траєкторії свердловини для точного виходу в конкретний пласт, підтримання буріння горизонтальної ділянки до завершення контрольного процесу, безпосередньо впливає на ефективність буріння горизонтальних свердловин. В доповнення, якісні геолого-геохімічні дослідження, включаючи поелементний аналіз шламу і газовий каротаж підвищують результативність отримання вуглеводнів і сприяє формуванню вичерпної геологічної інформації, а також швидкий аналіз, точна оцінку та інтерпретацію на наявність вуглеводнів.

Вирішення актуальних проблем. Тільки комплексні дослідження сприяють ефективності отримання результату.

Геофізичні та геолого-геохімічні дослідження. Одним із ключових завдань каротажу є аналіз та узагальнення даних літології, структури, пластовому тиску, фільтраційно-ємнісними характеристиками шляхом порівняння з сусідніми свердловинами та структурою блоку, а також з'ясування статичних і динамічних умов у свердловині та надання надійних і ефективних рекомендацій зацікавленим сторонам. Це дозволяє спокійно керувати процесом буріння та забезпечити безпечне виробництво, ставлячи за мету контролювану безпеку управління свердловиною. Консолідувати інформацію по технології буріння своєчасно отримуються відповідні дані про свердловину і швидко аналізуються, упереджуючи газопроявлення та вживання заходів для підвищення ефективності буріння [1]. Для отримання надійних даних про радіоактивні породи використовуються спеціальні методи, в останні роки швидко розвивається поелементний каротаж [2]. Методи каротажу за допомогою рентгенівської дифракції (XRD) та рентгенівської флуоресценції (XRF) часто називають каротажем XRD або XRF. XRD використовує принцип дифракції для безпосереднього визначення наявності у зразках шламу доломіту, кальциту, кварцу, калієвого польового шпату, плагіоклазу, піриту. XRF прилад стимулює енергію зразків шламу,

опромінюючи їх рентгенівським променем, що дозволяє аналізувати специфічні енергетичні та хвильові характеристики елементів для Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, In, Sn, W, Pb, Th, U, Ba (35 елементів) для визначення частки, відносного вмісту та розподілу хімічних елементів у зразках. Енергію та інтенсивність гамма-випромінювання вимірюють за допомогою спектрометрії природного гамма-випромінювання.

Вміст U, Th, K та потужність гамма-випромінювання визначають на основі спектрального аналізу. Ці дані можна використовувати для розрахунку вмісту сланцю, виявлення колекторів з високою природною гамма-активністю та оцінки материнських порід. Елементний та природний гамма-каротаж дозволяє ідентифікувати літологічні особливості пластів за змінами вмісту різних елементів у зразках бурового шламу. Він дозволяє ефективно аналізувати дрібний або навіть порошкоподібний чи змішаний шлам, який важко ідентифікувати, розпізнати та описати, і стає більш точним засобом ідентифікації літології та поділу стратиграфічних сегментів. Аналіз осадового середовища та вмісту органічної речовини в материнських породах за типами порід забезпечує підтримку умов накопичення вуглеводнів та кількісну оцінку вуглеводневих ресурсів. $TOC=f(U)$, вміст (глини/кварцу/польового шпату/кальциту/доломіту/піриту) = $f(Mg, Al, Si, K, Ca, Fe, S)$, вміст газу = f (сумарні вуглеводні, час буріння) тощо.

Поелементний каротаж є розвитком технології каротажу шляхом більш детального аналізу уламків гірських порід на основі каротажу уламків гірських порід, і елементи відіграють більш сприятливу роль у підтримці геологічного керування для контролю траєкторії свердловини [3–4].

Геонавігація. Концепція геонавігації була вперше запроваджена компанією Ana Drill у 1992 році, а перший каротажний прилад, спеціально розроблений для геонавігації, з'явився у 1993 році. Наразі три провідні нафтосервісні компанії – Schlumberger, Halliburton та Baker-Hughes – контролюють передові технології каротажу під час буріння (LWD) [5]. Прилади MWD (Measure While Drilling) та LWD (Logging While Drilling) використовуються для вимірювання даних MWD (нахил свердловини, азимут та температура пласта) та даних LWD (гамма-випромінювання, питомий опір та щільність) з метою отримання конкретних параметрів траєкторії свердловини та інформації про пласт для відповідної глибини свердловини та інформації про пласт на відповідній глибині свердловини.

Основна мета геонавігації полягає в тому, щоб точно розрахувати вхід в пласт та утримати горизонтальне буріння в цільовій зоні, за умов невизначеності стратиграфічних факторів, для чого попереднє проектування (профіль свердловини і розрахунок горизонтальної ділянки) є основою та необхідною передумовою. Прилади навігації беруть на себе керування від точки нахилу і до точки з відповідними електричними характеристиками, розташованої над цільовим об'єктом, відповідно до запланованої траєкторії свердловини, збільшуючи кут, коригуючи вертикальну глибину в режимі реального часу та оптимізуючи траєкторію свердловини в режимі реального часу. Регулювання також базується на комплексному аналізі даних каротажу гірських порід у реальному часі – гама каротаж, часу буріння, аналізу карбонатності, поелементного аналізу, відображення вуглеводневого газу та даних подальшого каротажу (MWD, LWD), порівнянні даних сусідніх свердловин, особливо стандартних електричних характеристик. Під час буріння горизонтального відрізка основним технічним інструментом залишається аналіз у реальному часі за допомогою комбінації даних по шламу, часу буріння, аналізу карбонатних порід, поелементного аналізу [6], виявлення вуглеводневого газу та даних супутнього каротажу (MWD та LWD), з урахуванням кута нахилу пласта, орієнтації пласта, варіації товщини цільового тіла та якості стовбура свердловини.

Висновки та перспективи. Геолого-геохімічні та технологічні дослідження в процесі буріння дозволяють збирати та аналізувати різноманітну геологічну інформацію, забезпечуючи при цьому безпеку свердловини, а також проводити професійне дослідження властивостей гірських порід і характеристик пластів для всебічного аналізу і в комплексі з іншими методами інтерпретації стану та структури розподілу вуглеводневих ресурсів.

Через невизначеність геологічних та тектонічних факторів, таких як мінливість потужностей, зміни кута нахилу, тектонічні порушення, малопотужні неоднорідні колектори, з метою точного доступу до цільового об'єкта та проходки горизонтального відрізка в ньому, технологія геонавігації стає гарантією отримання комплексних переваг буріння горизонтальних свердловин. При цьому вирішуються геологічні, технологічні, науково-дослідні задачі:

а) геологічні задачі:

- оперативне літолого-стратиграфічне розчленування розрізу;
- визначення характеру насичення пластів-колекторів;
- оцінка фільтраційно-ємнісних властивостей пластів-колекторів;
- виявлення реперних горизонтів;

б) технологічні задачі:

- раннє виявлення газонафтопроявів і поглинень під час буріння;
- розпізнавання та визначення тривалості технологічних операцій;
- вибір і підтримування раціонального режиму буріння;
- контроль гідродинамічних тисків у свердловині;
- діагностика передаварійних ситуацій у реальному масштабі часу.

Результатом є комплексна геолого-геохімічна інтерпретація рентгенофлуорисцентного (XRF) аналізу шламу та інтеграція з коротажними даними, даними газового каротажу: хеостратиграфія; хемо-літостратиграфічна кореляція; мінералогічне та літологічне моделювання; фаціальний аналіз; розширене мінералогічне моделювання; індекс відносної крихкості порід; синтетичний ГК на основі рентгенофлуорисцентного аналізу; синтетичний RHOMatrix на основі рентгенофлуорисцентного аналізу. Такого роду дослідження в комплексі з геонавігацією дають ефективні результати горизонтального буріння, що є фактом збільшення видобутку вуглеводнів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Jing Yong, Bai Shengping, Zhao Shubin, et al. Application of compound logging technology in drilling engineering. *Oil Drilling & Production Technology*, 2009, 31(S2),79–04.
2. Qi Zhenqing, Zhou Fengyan, Jiang Ping, and Chen Daihou. Geosteering functions of mud logging in horizontal wells. *Mud Logging Engineering*, 2013, 24(4), 7–10, 23.
3. Ye Xingshu. Application of X-Ray Fluorescence element logging in SD Oilfield [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2017. 33(2), 56–59.
4. Tang Cheng, Wang Zhizhan, Chen Ming, et al. Accurate Geosteering Technology for Deep Shale Gas Based on XRF Element Mud Logging. *Petroleum Drilling Techniques*, 2019, 47(6), 103–110.
5. Wang Jingjing. Research of Control system of Bldcm for the logging with Drilling [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2012.
6. Li Ang, Yuan Zhihua, Zhang Yuqing, et al. The application of elemental logging technology in the exploration of the shale gas field of Peiling [J]. *Natural Gas Exploration and Development*, 2015. 38(2), 23–26.

REFERENCES

1. Jing Yong, Bai Shengping, Zhao Shubin, et al. (2009). Application of compound logging technology in drilling engineering. *Oil Drilling & Production Technology*, 31(S2), 79–04.

2. Qi Zhenqing, Zhou Fengyan, Jiang Ping, and Chen Daihou. (2013). Geosteering functions of mud logging in horizontal wells. *Mud Logging Engineering*, 24(4), 7–10, 23.
3. Ye Xingshu. (2017). Application of X-Ray Fluorescence element logging in SD Oilfield [J]. *Marine Geology Frontiers*, 33(2), 56–59.
4. Tang Cheng, Wang Zhizhan, Chen Ming, et al. (2019). Accurate Geosteering Technology for Deep Shale Gas Based on XRF Element Mud Logging. *Petroleum Drilling Techniques*, 47(6), 103–110.
5. Wang Jingjing. (2012). Research of Control system of Bldcm for the logging with Drilling [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology,
6. Li Ang, Yuan Zhihua, Zhang Yuqing, et al. (2015). The application of elemental logging technology in the exploration of the shale gas field of Peiling [J]. *Natural Gas Exploration and Development*, 38(2), 23–26.

THE RELEVANCE OF CONDUCTING AN EXTENSIVE SET OF GEOLOGICAL AND GEOCHEMICAL STUDIES AND GEO-NAVIGATION DURING THE DRILLING OF HORIZONTAL WELLS

Lev Yemets

Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hrushevskoho Str., Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: Lev.emets11@gmail.com

Geological, geochemical, and engineering studies during the drilling process (mudlogging or gas logging) were introduced as a commercial service in 1939. This service provides continuous monitoring of drilling parameters, as well as the rapid identification and evaluation of rock cuttings during drilling, with the aim of correlating them and determining hydrocarbon production potential. High-quality methods for obtaining this data and its subsequent evaluation are extremely important factors in exploration and production drilling. The drilling of horizontal well sections is becoming increasingly necessary and effective.

A horizontal well section is drilled to a specific depth in the target formation, which increases the contact area with the oil and gas reservoir. The primary objective of a horizontal well is to increase oil and gas production or improve the oil and gas recovery factor. With the development of horizontal shale gas wells, advancements in drilling technologies, and the demand for more accurate reservoir analysis, as well as the need to improve quality, efficiency, and reduce costs, the integration of horizontal drilling models is becoming widespread. Gas logging, rock element composition, and geonavigation are integral components of drilling research and are grounded in oil and gas geology. The development of each aspect is outlined, and the relationships between them in practical application are analyzed to contribute to the exploration and development of oil and gas fields.

Key words: horizontal well, gas logging, geosteering, elements.

Дата першого надходження статті до видання: 25.01.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026