

А.О. Ігнатов, канд. техн. наук¹, Є.М. Ставичний, канд. техн. наук², В.М. Літвінов¹

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,
пр. Дмитра Яворницького, 19, 49027, м. Дніпро, Україна, e-mail: A_3000@i.ua

²ПАТ «Укрнафта», Несторівський пров., 3-5, 04053, Київ, Україна, e-mail: stavichniy@i.ua

РОЗГЛЯД ОКРЕМИХ ПИТАНЬ СВЕРДЛОВИННИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИВЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Проведені комплексні дослідження базових факторів виконання свердловинних прийомів і методів вивчення властивостей гірських порід на прикладі нафтогазових та інженерно-геологічних свердловин. Надано вичерпні відомості про окремі аспекти колонкового буріння. Найбільша увага приділена проведенню кернових досліджень для нафтогазових та інженерно-геологічних свердловин. Представлено характеристичні результати інженерно-геологічних вишукувань як складової свердловинних методик вивчення властивостей гірських порід.

Результати робіт є підставою подальших лабораторно-виробничих пошуків раціональних прийомів якісного розкриття продуктивних горизонтів нафтогазових свердловин та розробки адекватного геологічним умовам регламенту проведення інженерно-геологічних вишукувань.

Ключові слова: *кern, колонкове буріння, свердловина, гірські породи-колектори, проникність, інженерно-геологічні вишукування, фізико-механічні властивості, гідрогеологічні умови, ґрунтові води, відбір зразків.*

Вступ

Подальша підтримка і можливе нарощування темпів отримання переважної більшості корисних копалин (метали, паливо, хімічні та будівельні компоненти, а також інші види ресурсів) потребують проведення масштабних пошукових, розвідувальних та видобувних робіт [1]. Ті поклади, які знаходяться на відносно невеликих глибинах, як правило, повністю виснажені або знаходяться на пізній стадії розробки. Саме тому виникає логічна необхідність здійснення дослідницьких геологічних робіт в межах глибинних пластів гірських порід і корисних копалин. Вирішення поставленого завдання може бути досягнуто на підставі застосування методик пошуково-розвідувального та експлуатаційного буріння. Причому найбільш ефективними тут будуть виступати прийоми щодо спорудження свердловин. Шляхом буріння свердловин можна не тільки здійснювати роботи з пошуку і розвідки перспективних родовищ різноманітних корисних мінералів та вуглеводнів; **свердловини також** є дієвим інструментом у процесах виконання аналізу речовинного складу ґрунту, уточнення даних польових геофізичних досліджень, визначення фізичних та хімічних властивостей пластів гірських порід, що являється неодмінною умовою при будівництві різних нових об'єктів та відноситься до питань інженерної геології [2].

Підсумовуючі наведені відомості, необхідно зазначити, що виконання окреслених завдань в переважній більшості випадків можливе тільки при застосуванні технологій так званого колонкового буріння, яке виступає різновидом механічного обертального [3]. Цей спосіб отримав розповсюдження завдяки притаманності йому властивостей створення специфічної гірської виробки циліндричної форми шляхом руйнування породи кільцевим вибоєм; причому останнє супроводжується формуванням в центральній частині свердловини стовпчика гірської породи – керна.

Кern являється майже незамінним матеріалом при вивченні особливостей геологічної будови певної ділянки, складанні геологічних карт та стратиграфічних колонок, здійсненні

прогнозування розповсюдженості ресурсів, виконанні більшості інженерно-будівельних завдань [4].

Виходячи з означеного, ми можемо стверджувати наявність необхідності обґрунтованого підходу до проєктування процесів буріння колонкових свердловин, яке потребує застосування спеціальної техніки, обладнання, бурового інструменту, а також прийомів відбору керну.

Через можливість отримання кернів, для яких зберігається непорушність їх геологічної структури, колонкове буріння отримало широке застосовування у виробничій практиці. Проте трудність виконання завдання зі збереження природних властивостей кернів висуває значні обмежувальні чинники щодо реалізації методу колонкового буріння, особливо в складних геологічних умовах (до прикладу незв'язність гірських порід, значні глибини і т.д.). Саме тому науково-практичні роботи з питань удосконалення бурових колонкових робіт відрізняються різноманітністю підходів та отриманих рішень [5].

Відмічається значна увага дослідників до розробки прогресивних компонувань верстатів та установок колонкового буріння [6], особливими рисами яких виступає спрощення процесу виконання спуско-підймальних операцій, механізація та автоматизація основних і допоміжних операцій бурового циклу, широке застосування гідрофікації окремих вузлів та приводів.

Колонкове буріння свердловин відрізняється необхідністю застосування спеціального породоруйнівного інструменту, для якого передбачається здійснення руйнування гірської породи із залишенням керну, що може бути досягнуто при використанні бурових коронок (представляють собою корончне кільце із ріжучими елементами, розділеними на окремі сектори промивальними каналами, у вигляді твердосплавних різців або алмазів) та колонкових доліт (на відміну від звичайних конструкцій суцільного руйнування вибою, дозволяють руйнувати гірську породу виключно по периферії вибою). Спрямованістю сучасних робіт з удосконалення колонкового інструменту можна вважати створення композицій надтвердих матеріалів для озброєння та розробку конструкцій із значною робочою поверхнею [7].

В більшості випадків колонкового буріння його результативність визначається досконалістю процесів гідравлічної програми промивання свердловин (хоча допускається застосування також інших різновидів очисних агентів) [8]. Направленим регулюванням фізико-хімічних властивостей промивальних рідин можна досягти підвищення механічної швидкості буріння, зниження міри зносу бурового інструменту, покращення виносу зруйнованої породи з вибою свердловини (паралельно цьому з'являється можливість проведення шламового геологічного випробування свердловин), уникнення прояву ускладнень та аварій в свердловині і т.д. Саме цим можна пояснити наявність великої кількості публікацій, присвячених питанням створення раціональних рецептур очисних агентів та прийомів їх застосування.

Не залишається поза увагою дослідників і питання розробки прогресивних конструкцій снарядів та інструменту для відбору керна, у тому числі при застосуванні прогресивних технологій буріння із знімними керноприймачами та гідротранспортом керну [4].

При детальному аналізі проблематики колонкового буріння можна побачити присутність значних недоліків стосовно отримання зразків гірської породи при: належності останніх до категорії м'яких, схильних до руйнування та розчинення, а також складності умов збереження геологічної структури.

В залежності від потреб отримання керна, можуть поставати гострі питання якнайповнішого збереження непорушності структури та необхідності відтворення вибійних умов знаходження в масиві порід геологічних проб [9]. Такі обставини характерні при нафтогазовому бурінні, що супроводжується детальним вивченням колекторських властивостей (пористості, тріщинуватості, проникності тощо) продуктивних горизонтів шляхом різноманітних досліджень кернів на спеціальному устаткуванні. Виходячи зі змісту потреб спорудження, зокрема, розвідувальних свердловин на рідкі та газоподібні корисні

копалини, можуть відбуватися дослідження щодо: встановлення фізико-хімічних властивостей пластових флюїдів, визначення деяких геофізичних характеристик порід, дебіту, тиску, основних гідродинамічних параметрів продуктивних пластів з урахуванням різноманітності режиму роботи конкретної свердловини [10]. Вивчення геологічних розрізів свердловин на тверді корисні копалини відрізняється проведенням детальних аналізів кернових проб, до яких висуваються вимоги повноти виходу, а також виключення руйнування при їх відборі, що може мати по собі наслідки у вигляді спотворення геологічної інформації відносно дійсного вмісту корисного компонента. Досить часто ставляться вимоги отримання більш детальної геологічної інформації, джерелом якої може бути шламове випробування свердловин та відбір проб з бічних стінок свердловини спеціальними снарядами. Ґрунтовне вивчення окремих геоструктурних, геоморфологічних, а також гідрогеологічних умов і принципів розвитку сучасних геологічних процесів неможливе без кернавого та свердловинного випробування відповідних пластів; саме досконалість вказаних досліджень дасть змогу проведення ефективного проектування та подальшої нормальної експлуатації великого різноманіття інженерних споруд.

Тільки висока достовірність відомостей про результати геологічного, геохімічного, інженерно-геологічного випробування свердловин; надійність функціонування технічних засобів для проведення кернавого і шламового випробування; ефективність роботи вибійних випробувачів для дослідження водонафтогазоносних пластів; дотримання чіткого порядку відбору, документації та збереження кернавих і шламових проб, дозволить вірно сформулювати рекомендації щодо регламенту здійснення подальших робіт з розробки родовища або спорудження інженерних комунікацій [11].

Таким чином, існування потреби в активізації робіт щодо розробки прогресивних технічних засобів та ефективних технологічних прийомів і методів випробування пошукових, розвідувальних, експлуатаційних, інженерно-геологічних та інших типів свердловин нами доведена.

Мета статті – аналітичні, лабораторні та виробничі дослідження базових факторів здійснення свердловинних прийомів і методів вивчення властивостей гірських порід на прикладі нафтогазових та інженерно-геологічних свердловин.

Методики дослідження

При виконанні досліджень проводився аналіз наявних науково-технічних публікацій, а також вивчення виробничих даних щодо реалізації прийомів і методів визначення властивостей гірських порід. Відібрані зразки керну попередньо вивчалися на буровій та у геологічній лабораторії. Досліди на кернах продуктивних пластів проводили за допомогою фільтр-пресу для виміру фільтрації в статичних і динамічних умовах при високому тиску та температурі. Лабораторні визначення фізико-механічних властивостей ґрунтів виконані у акредитованій вимірвальній лабораторії. Обробка результатів досліджень виконана у середовищі MATHCAD та Microsoft Excel [12].

Результати дослідження та їх обговорення

Виключно зразки кернавих та шламових проб виступають тим первинним фактичним матеріалом, який дозволяє характеризувати геологічний розріз розкритих свердловиною відкладень; зазначені зразки слугують джерелом інформації для встановлення геологічного віку, особливостей речовинного складу, петрофізичних, фізичних, хімічних та багатьох інших властивостей гірських порід, а також безпосередньо корисних копалин на всіх стадіях здійснення геологорозвідувальних (до них ми також обґрунтовано можемо включити інженерно-геологічні дослідження) і нафтопромислових робіт [13].

На конкретному прикладі (Дніпровсько-Донецька западина, далі ДДЗ, як основний регіон вітчизняного нафтогазовидобутку) покажемо змістовність проведення kernового випробування свердловин. Геолого-промислові дослідження, а саме: відбір представницького kernового матеріалу з метою вивчення розрізу та отримання детальної петрофізичної інформації щодо особливостей геологічної будови, в даному випадку, хемогенних відкладів, виконано відповідно до вимог діючих нормативних документів [14].

Враховуючи актуальність проблематики детального вивчення геологічних розрізів нафтогазових свердловин та відсутність достатньої інформації щодо літологічного складу саме хемогенних відкладів родовищ ДДЗ, на свердловині № 20 Кобзівського родовища в інтервалі 2198 – 2231 м здійснено відбір керна [15]. Всього в інтервалі буріння 2198 – 2231 м відібрано 32 м керна, винесення керна становить 76,9%. За результатами проведення літолого-петрографічних досліджень та аналізу kernового матеріалу встановлено, що розріз в інтервалі каверни представлений частим перешаруванням КМСП, тобто каліймагнієві сольові породи, (бішофіт, карналіт, кізерит між собою) з кам'яною сіллю (табл. 1).

Таблиця 1. Результати досліджень kernового матеріалу під час буріння свердловини № 20 Кобзівська в інтервалі 2198 - 2231 м

Номер рейсу	Інтервал буріння, м	Винесення керна		Результати досліджень	
		м	%	Опис породи	Хімічний склад
1	2198 - 2206	7,2	90	Кам'яна сіль, крупнокристалічна, прозора і напівпрозора.	NaCl з незначними домішками CaCl ₂ , MgSO ₄
2	2206 - 2214	5	62,5	<u>Зразок 2-1</u> товщиною 0,35 м. Бішофіто-карналітова порода. Безколірна, місцями рожевата, текстура масивна. Гігроскопічна.	MgCl ₂ ×6H ₂ O + KCl×MgCl ₂ ×6H ₂ O
				<u>Зразок 2-2</u> товщиною 0,2 м. Бішофіто-карналіто-галітова порода, прозора, рожева, дрібно-крупно-кристалічна. Відзначається нечітка субгоризонтальна шаруватість, утворена тонкими прошарками крупнокристалічного галіту.	MgCl ₂ ×6H ₂ O + NaCl
				<u>Зразок 2-3</u> товщиною 0,75 м. Кам'яна сіль, біла, напівпрозора і прозора, крупно-гігантокристалічна. Місцями відзначаються прошарки без чітких меж, збагачені рожевим бішофітом і карналітом.	MgCl ₂ ×6H ₂ O (30 %) + NaCl (70%)
				<u>Зразок 2-4</u> товщиною 0,1 м. Кізерит білий, містить тонкі прошарки і включення прозорого, рожеватого бішофіто-карналіту і прозорого галіту.	NaCl з незначними домішками MgCl ₂ ×6H ₂ O + KCl×MgCl ₂ ×6H ₂ O

				Зразок 2-5 товщиною 0,6 м. Карналіто-бішофітова порода місцями переходить в бішофіто-карналітову, містить кристали галіту.	$MgCl_2 \times 6H_2O + KCl \times MgCl_2 \times 6H_2O$
				Зразок 2-6 товщиною 0,55 м. Сіль кам'яна біла, дрібно-крупнокристалічна з рідкими прошарками, збагаченими бішофітом і карналітом.	$NaCl$ з домішками $MgCl_2 \times 6H_2O + KCl \times MgCl_2 \times 6H_2O$
				Зразок 2-7 товщиною 0,07 м. Бішофіто-карналітова порода, рожева.	$MgCl_2 \times 6H_2O + KCl \times MgCl_2 \times 6H_2O$
				Зразок 2-8 товщиною 0,18 м. Кізерит сніжно-білий, утворений прошарками бішофіту, карналіту і галіту.	$MgSO_4 \times H_2O$
				Зразок 2-9 товщиною 0,2 м. Бішофіто-карналітова порода, рожева з прошарками кристалів галіту.	$MgCl_2 \times 6H_2O + KCl \times MgCl_2 \times 6H_2O$
				Зразок 2-10 товщиною 2 м. Сіль кам'яна біла з жовтуватим відтінком, дрібно-крупнокристалічна з прошарками, збагаченими бішофітом і карналітом.	$NaCl$ з домішками $MgCl_2 \times 6H_2O + KCl \times MgCl_2 \times 6H_2O$
3	2215 - 2223	4,4	55	Зразок 3-1 товщиною 0,9 м. Кізерит сніжно-білий, утворений прошарками бішофіту, карналіту і галіту.	$MgSO_4 \times H_2O$
				Зразок 3-2 товщиною 1,2 м. Карналіто-бішофітова порода, напівпрозора, місцями рожевата. Відзначається домішками кізериту і галіту.	$KCl \times MgCl_2 \times 6H_2O + MgCl_2 \times 6H_2O$
				Зразок 3-3 товщиною 1,15 м. Кізерито-карналіто-бішофітова порода, біла з домішкою галіту. дрібнокристалічна	$MgSO_4 \times H_2O + MgCl_2 \times 6H_2O + KCl \times MgCl_2 \times 6H_2O$
				Зразок 3-4 товщиною 1,15 м. Сіль кам'яна біла, дрібно-крупнокристалічна з домішками бішофіту і кізериту.	$NaCl$ з домішками $MgCl_2 \times 6H_2O + KCl \times MgCl_2 \times 6H_2O$

4	2223 - 2231	8	100	Сіль кам'яна біла, дрібно-крупнокристалічна з окремими прошарками напівпрозорої крупно-кристалічної.	NaCl з незначними домішками MgCl ₂ ×6H ₂ O + CaCl ₂ ×6H ₂ O
---	----------------	---	-----	--	---

Відповідно до представлених даних (табл. 1) позначимо, що сама кам'яна сіль не є абсолютно чистою, а в ній у різних кількостях присутні бішофіт, карналіт або кізерит, тобто більш розчинні солі. На основі результатів кавернометрії стовбура свердловини та їх співставлення з фрагментом досліджень фактичного складу порід згідно з тестуванням кернавого матеріалу отримано графічне відображення процесів каверноутворення залежно від літологічного розрізу. Отже, шляхом дослідження структури керна з розрізу, складеного хомогенними відкладами Кобзівського родовища ДДЗ, та на підставі відомостей про результати комплексних геофізичних досліджень свердловини (ГДС) отримано детальну геологічну інформацію про особливості залягання названих нами хомогенних відкладів і стан стовбура свердловин цього родовища під час первинного розкриття.

У зв'язку зі значним ускладненням гірничо-геологічних умов буріння, що пов'язано з виснаженням пластової енергії та перебуванням значної кількості родовищ у завершальній стадії розробки, а також перехід більшості родовищ у категорію родовищ з важковидобувними запасами, повинні впроваджуватись інноваційні технологічні рішення на усіх етапах споруджування свердловин. Проте, навіть в таких умовах не завжди дотримуються принципу забезпечення ефективного первинного розкриття колекторів та забезпечення якісного кріплення свердловин. Як відомо, продуктивність свердловини в більшості випадків залежатиме від стану її привибійної зони. Основними чинниками, що спричиняють негативний вплив на колекторські властивості та викликають їх кольматацію, є фільтрат бурового і тампонажного розчинів.

Результати досліджень особливостей первинного розкриття продуктивних горизонтів на різних типах бурових промивальних рідин, на основі лабораторного вивчення зразків керна, приведено в табл. 2.

Таблиця 2. Результати первинного розкриття продуктивних горизонтів при застосуванні різних типів промивальних рідин

Назва свердловини, вибій на глибині, м	Тип промивальної рідини	Компонентний склад промивальної рідини	Параметри рідини та їх значення			Респресія/пластовий тиск, МПа	Коефіцієнт відновлення проникності (β)
			Параметри	Проектні	Фактичні		
2-Тереснянська, 3950 м, (ПСС)	Інгібований з багатомісними спиртами (ІБР)	Бентонітовий глинопорошок, нафта, Na ₂ CO ₃ , NaOH, KCl, КССБ-МТ, КМЦ fin-fix, ПЕГ-400, Савенол, СБР, барит	Густина, кг/м ³	1220	1200	1,1/45,4	β ₁ = 57,9%, β ₂ = 86,2%
			Умовна в'язкість, с	100-120	26		
			СНЗ _{1/10} , дПа	50/80	1,3/2,6		
			Фільтрація за 30 хв, см ³	5-6	6		

1-Стругинська, 2499 м (ПСС)	Лігносульфонатний	Глино порошок бентоніт, Na ₂ CO ₃ , NaOH, КМЦ, нафта, СБР, ПЕГ, барит, Сульфонол, Савенол, Метапол-С, КССБ-МТ, Пентакс	Кірка, мм	0,5	2	13,3/16,1	$\beta_1 = 33,2\%$, $\beta_3 = 94,5\%$
			pH	8-10	11,65		
			S _ф , %	5	6		
			K _ф , %	2,1	1,32		
			Густина, кг/м ³	1180	1200		
			Умовна в'язкість, с	45-55	72		
			СНЗ _{1/10} , дПа	15-20/25-35	87/122		
			Фільтрація за 30 хв, см ³	4-5	5		
			Кірка, мм	0,5	1,5		
pH	8	8					
S _ф , %	до 5	5					
K _ф , %	2,48	2,8					

Позначки: ПСС – похилоспрямована свердловина; K_ф – вміст колоїдної фази; S_ф – мінералізація фільтрату бурової промивальної рідини; β_1 – коефіцієнт відновлення проникності керна матеріалу початковий; β_2 – коефіцієнт відновлення проникності після зрізу робочого торця взірця керна на 1 мм; β_3 – коефіцієнт відновлення проникності після дії соляної кислоти на взірець керна.

Як бачимо з отриманих даних (табл. 2), початковий коефіцієнт відновлення проникності досліджуваних взірців керна матеріалу лежить в межах приблизно 30 – 60%; хоча базові вимоги нормативних документів при значенні коефіцієнта відновлення проникності більше 75% свідчать про задовільне значення даного показника. Зріз робочого торця взірця керна на 1 мм (усунення кольматаційного шару твердої фази) дозволив отримати покращені значення коефіцієнта відновлення проникності до 86,2%. У випадку додаткової дії соляної кислоти на взірець керна коефіцієнт відновлення проникності зріс до 94,5%. Моделювання зрізу робочого торця взірця керна на 1 мм з усуненням кольматаційного шару дозволяє оцінити можливість усунення забруднення колектора від твердої фази під час проведення перфораційних робіт. Проте є випадки, коли навіть обробка керна матеріалу соляною кислотою не забезпечує повне відновлення коефіцієнта проникності. Таке блокування свідчить про утворення стійких емульсій чи важкорозчинних солей. Подальші дії в даній ситуації повинні передбачати наповнення бурових промивальних рідин екрануючими домішками та додаткову обробку реагентами для зменшення міжфазного натягу фільтрату. Для запобігання таким ситуаціям потрібно завчасно тестувати системи бурових розчинів з оцінкою їх впливу на коефіцієнт відновлення проникності для гірничо-геологічних та термобаричних умов кожної свердловини індивідуально.

Додатково нами проведено оцінку впливу біополімерної промивальної рідини на зміну проникності порід-колекторів при вибої свердловини 2070 м. Для досліджень вибрали керн з характеристиками, що представлені в табл. 3.

Таблиця 3. Характеристика досліджуваного керна матеріалу

Номер керна	Діаметр, см	Довжина, см	Об'єм, см ³	Пористість, %	Проникність × 10 ⁻³ , мкм ²
2986	2,72	4,1	23,81	10,75	6,7

Дослідження впливу бурових промивальних рідин на керновий матеріал проведено у змодельованих термобаричних умовах:

тиск гідравлічного обтискування керна – 10 МПа;

температура робочої зони – 55°C;

перепад робочого тиску на керні – 0,8 МПа.

Бурову промивальну рідину прокачано через досліджуваний керн протягом 3 год. Об'єм фільтрату при цьому склав 1,8 см³. Фільтраційна кірка, сформована на робочому торці керна – сірого кольору, полімерна, малої міцності із включеннями тирси, товщиною 2 мм.

Відновлення проникності керна було рівне $\beta_1 = 73\%$ після прокачування 30 порових об'ємів вуглеводневої рідини протягом 57,5 хв. Швидкість фільтрації зростала від 0,02934 см/с до 0,03926 см/с.

Для визначення глибини кольматації застосували метод зрізу робочого торця керна на 1 мм. Відновлення проникності керна після цього збільшилось до значення $\beta_2 = 88\%$ після прокачування вуглеводневої рідини в кількості рівній 30 порових об'ємів протягом 41,4 хв. Швидкість фільтрації зростала від 0,04525 см/с до 0,04944 см/с.

Для визначення характеру кольматації застосували метод кислотної обробки пласта. Відновлення проникності керна після цього збільшилось до значення $\beta_3 = 99\%$. Швидкість фільтрації – 0,05561 см/с.

Проведеними дослідженнями встановлено, що дана бурова промивальна рідина спричиняє кольматацію середнього рівня, частина якої знаходиться на глибині до 1 мм, що може бути усунуто методами вторинного розкриття, зокрема перфорацією. Зона більш глибокої кольматації успішно декольматується за допомогою модельованої кислотної обробки пласта.

Вельми змістовну інформацію можуть надати інженерно-геологічні дослідження, що мають за інструмент спорудження спеціалізованого типу свердловин, які дозволяють безпосередньо вивчати різноманітні особливості досліджуваного геологічного розрізу, відбирати непорушені зразки ґрунтів для точного визначення їх речовинного складу, стану та цілого спектру фізико-механічних властивостей. Перевагою розглядуваних свердловин також виступає можливість проводити різні види досліджень у свердловинах, метою яких є визначення певних гідрогеологічних та інших характеристик.

Підкреслимо [16], що важливою особливістю вивчення властивостей гірських порід, у ракурсі реалізації інженерно-геологічних робіт, є оцінка їх здатності стійко протидіяти механічному, фізичному та іншим видам впливу. Ретельністю повинні відрізнятися дослідження, завданням яких є визначення водопроникності гірських порід, а також їх здатності підтримувати в часі (або в певний спосіб зберігати) і, відповідно, змінювати свої властивості в разі залучення їх в якості об'єкту активної інженерної діяльності.

Порівнюючи між собою принципи технологій геологорозвідувального та інженерно-геологічного буріння свердловин, важливо позначити, що вони використовують однакове технічне обладнання (тут ми маємо на увазі, до прикладу, самохідні бурові установки, шпindelльні верстати, буровий інструмент). Досить значні відмінності характеризують інструмент для отримання керну при розвідувальному та зразків ґрунту при інженерно-геологічному бурінні, що може бути пояснено різницею в змісті переслідуваних цілей і сутності розв'язуваних завдань. Причиною вказаного буде наступне: інженерно-геологічні бурові роботи мають за мету вивчення верхньої частини земної кори, представленої, як правило, нескельними ґрунтами (середня глибина розглядуваних свердловин зазвичай становить 10 – 15 м); такий – відносно невеликий – інтервал, власне кажучи, і знаходиться в зоні безпосередньої взаємодії з різними інженерними спорудами (табл. 4). Свердловини геологорозвідувального буріння відрізняє мінімальна глибина, яка сягає позначки щонайменше 50-100 м і значно більше (для вуглеводнів). Головним завданням геологорозвідувального буріння є отримання вичерпних відомостей про пласт корисної копалини, потужність якого складає лише незначну частку від загальної глибини свердловин. Саме для означеного інтервалу в переважній більшості випадків застосовуються спеціальні пристрої для

відбору кондиційного керну та відповідні ним режими буріння. Інженерно-геологічні вишукування здійснюються за допомогою пристроїв спеціальної конструкції для відбору ґрунту; причому спеціальні режими буріння для них застосовуються у всьому інтервалі свердловини [2].

Таблиця 4. Типовий геологічний розріз свердловини, що пробурена із метою здійснення інженерно-геологічних вишукувань

№ з/п	Геологічний індекс	Номер ПГЕ	Літологічний опис порід	Глибина залягання шару, м		Потужність шару, м	РГВ, м
				від	до		
1	e _{IV}	1	Ґрунтово-рослинний шар	0,0	0,5	0,5	9,2
2	vd _{III}	2	Суглинок легкий (до важкого), лесовий, твердий, пилюватий, від темно-бурого до жовто-бурого, в кривлі із затіками гумусу, з рідкими включеннями карбонатів, просідний	0,5	3,3	2,8	
3		3	Суглинок легкий (до супіску), лесовий, твердий, пилюватий, від палево-жовтого до жовто-коричневого, з рідкими включеннями карбонатів, просідний	3,3	5,2	1,9	
4	vd _{II}	4	Суглинок важкий (в подошві до легкого), лесовий, твердий (в подошві до напівтвердого), пилюватий, від бурого та коричнево-бурого до жовто-бурого, з рідкими включеннями карбонатів, просідний	5,2	7,8	2,6	
5		5	Суглинок легкий, від тугопластичного до м'якопластичного, пилюватий, від жовто-бурого до жовто-коричневого, з включеннями карбонатів, непросідний	7,8	10,6	2,8	
6	e, vd _I	6	Суглинок важкий, тугопластичний (прошарками до напівтвердого), пилюватий, від жовто-бурого до червоно-бурого, з включеннями карбонатів та кристалів гіпсу, непросідний	10,6	13,6	3,0	
7		7	Суглинок важкий, від напівтвердого (в кривлі) до твердого, пилюватий, від жовто-бурого та бурого до червоно-бурого, з включеннями карбонатів та кристалів гіпсу, непросідний	13,6	20,5	6,9	
8	N ₂ -Q ₁ (e, vd)	8	Глина легка, тверда, пилювата, червоно-бура, з включеннями карбонатів, кристалів гіпсу та гідроокислів марганцю, непросідна	20,5	30,4	9,9	
9	N ₂	9	Глина легка, тверда, пилювата, від сірувато-бурої до бурої, з включеннями карбонатів, кристалів гіпсу та гідроокислів марганцю, непросідна	30,4	36,7	6,3	

10		10	Глина легка, тверда, пилювата, сіра, з включеннями кристалів гіпсу та гідроокислів марганцю, непросідна	36,7	40,0	3,3	
----	--	----	---	------	------	-----	--

Позначки: ПГЕ – деякий зразок ґрунту одного віку походження і виду, причому характеристики його властивостей в межах виділеного елемента є статично-однорідними; РГВ – рівень ґрунтових вод.

Позначені в табл. 4 гірські породи були піддані лабораторному аналізу їх основних властивостей (табл. 5).

Таблиця 5. Результати лабораторних досліджень основних фізико-механічних властивостей ґрунтів

Найменування основних фізико-механічних властивостей ґрунтів		Одиниці вимірювання	Номер ПГЕ	
			2	3
			Літологічний опис порід	
			Суглинок легкий (до важкого), лесовий, твердий, пилюватий, від темно-бурого до жовто-бурого, в кривлі із затіками гумусу, з рідкими включеннями карбонатів, просідний	Суглинок легкий (до супіску), лесовий, твердий, пилюватий, від палево-жовтого до жовто-коричневого, з рідкими включеннями карбонатів, просідний
Гранулометричний склад за фракціями	2 - 1 мм	%	-	0,3
	1 - 0,5 мм		1,2	1,6
	0,5 - 0,25 мм		4,7	4,9
	0,25 - 0,1 мм		6,7	11,4
	0,1 - 0,05 мм		14,7	19,2
	0,05 - 0,01 мм		24,7	25,1
	0,05 - 0,005 мм		38,4	27,7
	< 0,005 мм		9,6	9,8
Вологоємність ґрунту			21,7	12,9
Пластичності число		-	9,7	8,2
Щільність ґрунту	в природному стані	г/см ³	1,64	1,63
	сухого		1,35	1,44
	часток		2,68	2,68
Випробування на зсув	зчеплення	кПа	15	16
	кут внутрішнього тертя	град.	24	22

Тут слід підкреслити, що зважаючи на зміст основних завдань інженерно-геологічних досліджень, предметом вивчення розглядуваних робіт є склад, будова, стан, властивості, умови залягання та розповсюдження гірських порід (ґрунтів) з огляду на їх використання в якості основи фундаментів різноманітних промислових та цивільних об'єктів. Дослідженню також повинні бути піддані геологічні процеси природного і техногенного характеру, які мають місце для розглядуваних ділянок, умови їх виникнення та розвитку, на підставі чого можлива розробка регламентних норм щодо їх попередження або ефективного усунення.

Потрібно звернути увагу на те, що отримані результати інженерно-геологічних досліджень повинні бути максимально достовірними і достатніми для здійснення обґрунтування певних конструктивних рішень, розрахунку проєктних характеристик різних споруд, розробки комплексу заходів з інженерного захисту і відповідної підготовки територій під майбутнє будівництво; обов'язковим є також прогнозування змін означених показників в ході процесу будівництва і експлуатації споруд [17].

В цілому результати проведення інженерно-геологічних вишукувань передбачають отримання наступних результатів: достовірний опис літологічної будови та властивостей ідентифікованих ґрунтів, умови їх залягання та петрографічні ознаки за генетичними типами; охарактеризовані мають бути наявна тектонічна будова і неотектонічні процеси; вичерпністю повинні відрізнятися відомості про фізико-механічні і хімічні властивості ґрунтів із зазначенням їх можливої просторової мінливості; інформативними мають бути гідрогеологічні ознаки основних водоносних горизонтів (сюди включаються дані про положення рівня ґрунтових вод, закономірності їх поширення, гідрогеологічні умови залягання та джерела живлення); в обов'язковому порядку вивченню повинні бути піддані хімічні властивості ґрунтових вод, вплив яких буде позначатися на стійкості конструкцій, що, зазвичай, виготовляються з бетону та містять в собі металеву арматуру (табл. 6); всі перелічені нами фактори чинитимуть певний вплив на умови майбутнього будівництва і експлуатацію промислових або цивільних об'єктів і споруд [18].

Таблиця 6. Результати хімічного аналізу ґрунтових вод

Досліджувані параметри		Проба №1 (РГВ – 10,8 м)		Проба №12 (РГВ – 9,8 м)	
		мг/дм ³	ммоль/дм ³	мг/дм ³	ммоль/дм ³
Катіони	Na ⁺ +K ⁺	487,4	21,2	462,1	20,1
	Ca ⁺⁺	260,5	13,0	246,5	12,3
	Mg ⁺⁺	183,7	15,1	211,7	17,4
Аніони	Cl ⁻	283,7	8,0	308,5	8,7
	SO ₄ ²⁻	1461,5	30,4	1495,2	31,1
	HCO ₃ ⁻	664,6	10,9	609,8	10,0
Сухий залишок, мг/дм ³		3110		3090	
Загальна жорсткість, ммоль/дм ³		28,1		29,7	
рН		7,09		7,02	
Лужність		10,9		10,0	

Відповідно до отриманих даних, ми можемо констатувати, що ґрунтові води із сухим залишком 3,1 г/л та загальною жорсткістю 28,1-29,7 ммоль/л відносяться до сульфатно-натрієво-магнієвого типу. За вмістом сульфатів ґрунтові води середньоагресивні до бетону марки за водонепроникністю W₄, слабоагресивні до бетону марки за водонепроникністю W₆ та неагресивні до бетону марки за водонепроникністю W₈. За ступенем агресивності на арматуру залізобетонних конструкцій ґрунтові води неагресивні при постійному замочуванні та середньоагресивні при періодичному замочуванні. Ґрунтові води мають низьку агресивність до свинцевих оболонок кабелю, середню до вуглецевої сталі, а також високу агресивність до алюмінієвих оболонок кабелю.

Висновки

1. В роботі приведені основні відомості щодо особливостей відбору зразків гірської породи у вигляді кернів, які виступають первинним матеріалом для вивчення речовинного складу, петрофізичних та фізико-механічних властивостей гірських порід

- (зокрема порід-колекторів нафти і газу), чим доведено необхідність приділення належної уваги створенню умов для відбору якісних зразків гірської породи.
2. На прикладі лабораторного вивчення зразків керну за допомогою фільтр-пресу, призначенням якого є вимір фільтрації в статичних та динамічних умовах за високого тиску і температури, визначено показники щодо ефективності первинного розкриття продуктивних горизонтів при застосуванні різних типів промивальних рідин; означені відомості є базовими для розробки регламенту освоєння вуглеводневих родовищ.
 3. Наведеними відомостями про сутність свердловинних інженерно-геологічних вишукувань показана необхідність розробки спеціальних технічних засобів та технологічних прийомів для отримання зразків ґрунту непорушеної структури для подальших комплексних досліджень.
 4. Дослідження щодо удосконалення техніко-технологічних основ свердловинних методик вивчення властивостей гірських порід повинні продовжуватися в напрямку розробки сучасних засобів відбору кондиційних зразків гірських порід із максимальним збереженням для них фізичних і хімічних параметрів глибинного залягання в надрах.

A.O. Ihnatov¹, Ye.M. Stavychnyi², V.M. Litvinov¹

¹*Dnipro University of Technology*

²*Public joint-stock company «Ukrnafta»*

CONSIDERATION OF INDIVIDUAL ISSUES OF BOREHOLE TECHNOLOGIES FOR STUDYING THE PROPERTIES OF ROCKS

The complex research of basic factors of borehole techniques and methods of studying rock properties on the example of oil and gas and engineering-geological wells has been carried out. Comprehensive information about individual aspects of core drilling is provided. The greatest attention is paid to conducting core studies for oil and gas and engineering geological wells. The characteristic data of engineering-geological surveys as a component of borehole methods for studying the properties of rocks are presented.

The results of the work are the basis for further laboratory and production searches for rational methods for high-quality opening of productive horizons of oil and gas wells and the development of regulations for conducting geotechnical surveys that are adequate to geological conditions.

Key words: *core drilling, well, reservoir rocks, permeability, geotechnical surveys, physical and mechanical properties, hydrogeological conditions, groundwater, sampling.*

Література

1. Vaddadi N. Introduction to oil well drilling. – Bathos (U Vee Infosystems), 2015. – 204 p.
2. Інженерна геологія (з основами геотехніки) / за заг. ред. проф. В.Г. Суярка. – Харків: Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, 2019. – 278 с.
3. Вирвінський П.П., Кузін Ю.Л., Хоменко В.Л. Геологорозвідувальна справа і техніка безпеки. – Дніпропетровськ: Держ. вищ. навч. закл. «Нац. гірн. ун-т», 2010. – 368 с.
4. Коровяка Є.А., Ігнатов А.О. Особливості гідротранспорту знімних керноприймачів // Інструментальне матеріалознавство: Зб. наук. пр. – Випуск 23. – К.: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2020. – С. 103 - 114.
5. Коровяка Є.А., Ігнатов А.О., Расцветаєв В.О. Особливості бурових робіт при інженерних вишукуваннях і підготовці територій // Інструментальне матеріалознавство: Зб. наук. пр. – Випуск 24. – К.: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2021. – С. 102 - 113.
6. Ihnatov A., Koroviaka Ye., Rastsvietaiev V., Tokar L. Development of the rational bottomhole assemblies of the directed well drilling / Gas Hydrate Technologies: Global Trends, Challenges and Horizons (GHT 2020): materials of IV International Scientific and Technical Conference // E3S Web of Conferences. 2021. – Vol. 230. – P. 01016.

7. Ihnatov A. Analyzing mechanics of rock breaking under conditions of hydromechanical drilling. *Mining of Mineral Deposits*. – 2021. – Vol. 15, N 3. – P. 122 - 129.
8. Павличенко А.В., Ігнатів, А.О., Коров'яка Є.А., Барташевський С.Є., Коротка І.Ю., Мекшун М.Р. Основи організації системи гідравлічного очищення свердловин // Збірник наукових праць НГУ. – 2021. – Вип. 67 – С. 136 – 152.
9. Azar J.J., Robello S.G. (2007). *Drilling Engineering*. – PennWell Corporation, 2007 – 486 p.
10. Hossain, M.E., & Islam, M.R. *Drilling engineering: problems and solutions*. – Wiley – Scrivener publishing, 2018. – 627 p.
11. Коцкулич Я.С., Тищенко О.В. Закінчування свердловин. – Київ: Інтерпрес ЛТД, 2004. – 366 с.
12. Curry, G.L. & Feldman, R.M. *Manufacturing systems. Modeling and analysis*. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. – 338 p.
13. Ставичний Є.М., Магун М.Я., Зіньков Р.В. Досвід спорудження свердловин на Волошківській площі в умовах проявлення текучості калієво-магнієвих солей // Нафтова і газова промисловість. – 2008. – № 4. – С. 34 – 36.
14. Ігнатів А.О., Ставичний Є.М. Геологічні й техніко-технологічні особливості кріплення нафтогазових свердловин з урахуванням фізико-хімічного стану їх стовбурів // Інструментальне матеріалознавство: Зб. наук. пр. – Випуск 24 – К.: ІНМ ім. В.Н. Бакуля НАН України, 2021. — С. 87 – 102.
15. Ігнатів А.О., Ставичний Є.М. Лабораторні та промислові дослідження процесу цементування нафтогазових свердловин в умовах товщ осадових порід // Інструментальне матеріалознавство: Зб. наук. пр. – Випуск 23 – К.: ІНМ ім. В.Н. Бакуля НАН України, 2020. – С. 88 – 103.
16. Інженерні вишукування для водогосподарського та природоохоронного будівництва / за заг. ред. проф. А.М. Рокочинського, В.Д. Дупляка. – Рівне: НУВГП, 2010. – 173 с.
17. Основи та фундаменти будинків і споруд. Державні будівельні норми України: ДБН В.2.1-10-2009. – [Уведено в дію від 2009-07-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. – 82 с.
18. Інженерні вишукування для будівництва. Державні будівельні норми України: ДБН А.2.1-1-2014. – [Уведено в дію від 2014-03-24]. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2014. – 128 с.

Надійшла 05.11.24

References

1. Vaddadi, N. (2015). *Introduction to oil well drilling*. Bathos (U Vee Infosystems).
2. Suiarka, V.G. (Eds.). (2019). *Inzhenerna heolohiia (z osnovamy heotkhniky) [Engineering geology (with the basics of geotechnics)]*. V.N. Karazin Kharkiv National University [in Ukrainian].
3. Vyrvinskii, P.P., Kuzin, Y.L., Khomenko, V.L. (2010). *Heolohorozvidualna sprava i tekhnika bezpeky [Exploration and safety]*. National Mining University [in Ukrainian].
4. Koroviaka Ye.A., Ihnatov A.O. (2020). Osoblyvosti hidrottransportu znimnykh kernopryimachiv [Features of hydraulic conveying removable core receiver] *Instrumentalne materialoznavstvo – Tooling materials science*. (23rd Issue, p. 103–114). ISM im. V.N. Bakulia, NAN Ukrainy [in Ukrainian].
5. Koroviaka Ye.A., Ihnatov A.O., Rastsvietaiev V.O. (2021). Osoblyvosti burovykh robit pry inzhenerykh vyshukuvanniakh i pidhotovtsi terytorii [Eatures of drilling operations during engineering surveys and preparation of territories]. *Instrumentalne*

- materialoznavstvo – Tooling materials science, 24nd Issue, p. 102–113). ISM im. V.N. Bakulia, NAN Ukrainy [in Ukrainian].
6. Ihnatov, A. (2021). Analyzing mechanics of rock breaking under conditions of hydromechanical drilling. *Mining of Mineral Deposits*, 15(3), 122–129.
 7. Ihnatov A., Koroviaka Ye., Rastsvietaiev V., Tokar L. Development of the rational bottomhole assemblies of the directed well drilling / Gas Hydrate Technologies: Global Trends, Challenges and Horizons (GHT 2020): materials of IV International Scientific and Technical Conference // E3S Web of Conferences. 2021. – Vol. 230. – P. 01016.
 8. Pavlychenko A., Ihnatov, A., Koroviaka Ye., et al. (2021). Osnovy orhanizatsii systemy hidravlichnoho ochyshchennia sverdlovyh [Fundamentals of organizing a hydraulic well cleaning system]. *Collection of research papers of the NMU*, 4(67), 136–152 [in Ukrainian].
 9. Azar, J.J., & Robello, S.G. (2007). *Drilling Engineering*. PennWell Corporation.
 10. Hossain, M.E., & Islam, M.R. (2018). *Drilling engineering: problems and solutions*. Wiley – Scrivener Publishing.
 11. Kotskulych, Ya.S., & Tyshchenko, O.V. (2004). *Zakinchuvannia sverdlovyh [Well completion]*. Interpres LTD [in Ukrainian].
 12. Curry, G.L. & Feldman, R.M. (2011). *Manufacturing systems. Modeling and analysis*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
 13. Stavychnyi, Ye.M., Mahun, M.Ia., & Zinkov, R.V. (2008). Dosvid sporudzhennia sverdlovyh na Voloshkivskii ploshchi v umovakh proiavlennia tekuchosti kaliievo-mahniievykh solei [The experience of construction of wells in the Voloshkovskaya area in the conditions of manifestation of fluidity of potassium-magnesium salts]. *Naftova i hazova promyslovist - Oil and gas industry*, 4, 34–36 [in Ukrainian].
 14. Ihnatov, A.A., & Stavychnyi, Ye.M., (2021). Heolohichni y tekhniko-tekhnologichni osoblyvosti kriplennia naftohazovykh sverdlovyh z urakhuvanniam fizyko-khimichnoho stanu yikh stovburiv [Geological and technical-and-technological features of casing oil and gas wells, taking into account the physical and chemical state of their wellbore]. *Instrumentalne materialoznavstvo - Tooling materials science*, (24nd Issue, p. 87–102) ISM im. V.N. Bakulia, NAN Ukrainy [in Ukrainian].
 15. Ihnatov, A.O., & Stavychnyi, Ye.M. (2020). Laboratorni ta promyslovi doslidzhennia protsesu tsementuvannia naftohazovykh sverdlovyh v umovakh tovshch osadovykh porid [Laboratory and industrial research of cementation process of oil-and-gas bore holes in the conditions of sedimentary rock beds]. *Instrumentalne materialoznavstvo - Tooling materials science*, (23nd Issue, p. 88–103). ISM im. V.N. Bakulia, NAN Ukrainy [in Ukrainian].
 16. Rokochynsky, A.M., & Duplyak, V.D. (Eds.). (2010). *Inzhenerni vyshukuvannia dlia vodohospodarskoho i pryrodookhoronnoho budivnutsva [Engineering surveys for water management and environmental construction]*. NUVGP [in Ukrainian].
 17. Osnovy ta fundamenti budynkiv i sporud. Derzhavni budivelni normy Ukrayiny. [Foundations and foundations of buildings and structures. State building norms of Ukraine]. (2009). *DBN B.2.1-10-2009 from 07th January 2009*. Minrehionbud Ukrainy [in Ukrainian].
 18. Inzhenerni vyshukuvannya dlya budivnytstva. Derzhavni budivelni normy Ukrayiny. [Engineering surveys for construction. State building norms of Ukraine]. (2014). *DBN A.2.1-1-2014 from 24th March 2014*. Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrayiny [in Ukrainian].