

- Technologies: Global Trends, Challenges and Horizons'20: IV International Scientific and Technical Conference (GHT 2020) (vol. 230, p. 01016). E3S Web of Conferences.
13. Curry, G.L. & Feldman, R.M. (2011). *Manufacturing systems. Modeling and analysis*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
14. Sharma K.K., & Sharma L.K. (2016). *A Textbook of Physical Chemistry, 6th Edition*. Vikas Publishing House.

УДК 622.24:504.05

DOI: 10.33839/2708-731X-25-1-68-79

А.В. Павличенко, д-р техн. наук; **А.О. Ігнатов**, **Є.А. Коровяка**, кандидати технічних наук;
І.К. Аскеров

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

ОСНОВНІ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ СПОРУДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ СВЕРДЛОВИН

Питання забезпечення належного захисту навколишнього середовища та охорони надр будуть ефективно вирішені в разі прийняття до уваги геологічної будови конкретного родовища, обґрунтованого вибору необхідного обладнання та матеріалів, а також застосування прогресивних методів розкриття та освоєння продуктивних горизонтів.

В роботі проведено детальний аналіз послідовного алгоритму створення ефективного та еколого-безпечного регламенту освоєння нафтогазових родовищ із відповідним удосконаленням техніко-технологічним супроводженням циклів розвідувального та експлуатаційного буріння в складних геологічних і гірничотехнічних умовах.

Одержані результати ґрунтовних аналітико-лабораторних досліджень, а також деякі узагальнення літературних даних, є базовими для проєктування технічного супроводу і технологічних параметрів процесів розробки нафтогазових покладів. При розробці проєктів освоєння родовищ корисних копалин, особлива увага повинна приділятися питанням охорони навколишнього середовища за рахунок реалізації комплексних заходів раціонального використання природних ресурсів, що і доведено в представленій роботі.

Ключові слова: *свердловина, промивальна рідина, гірська порода, екологічна безпека, тампонажний цемент, вибій, робочий цикл, хімічний реагент, буровий шлам, вуглеводні.*

Постановка проблеми

Для нашої держави саме нафтова і газова промисловість виступають пріоритетним та перспективним напрямком розвитку економіки [1]. Стале функціонування нафтової і газової галузей має на меті забезпечення різних секторів промислового виробництва та побутових потреб енергоносіями та відповідною потребою замкнених циклів хімічною сировиною.

Дамо декілька необхідних пояснень, які дозволять сформулювати ключові вимоги до процесів розробки родовищ нафти і газу. Загалом нафта представляє собою горючу корисну копалину, з хімічної точки зору це досить складна суміш вуглеводнів різних класів [2]. Фізично нафту можна охарактеризувати як в'язку рідину жовтувато-зеленого, червоно-коричневого упритул до чорного кольору, іноді зустрічається навіть безбарвна нафта; вона має характерний запах, як правило, її густина менше ніж густина води, в останній вона нерозчинна. З геологічних характеристик нафти, необхідно підкреслити те, що вона утворюється разом з газоподібними вуглеводнями на глибині понад 1000 м; може залягати на глибинах від десятків

метрів до 5000 м і навіть дещо більше. Природний газ представляє собою суміш газів (метану – до 98%, етану, пропану, бутану тощо), що утворилася (доречи як і нафта), відповідно до основних (проте дискусійних) положень теорії органічного походження вуглеводнів, в надрах при анаеробному розкладанні органічних речовин та наступній конденсації у так званих пастках верхньої мантії (вони виступають частиною природного резервуара, в якій зберігаються та циркулюють вуглеводні). Природний газ не має кольору і запаху. Поклади природного газу, як і нафти, знаходиться на глибинах від 1000 м до декількох кілометрів, упритул до 6000 метрів і більше. Наведені факти дають чітку уяву про те, що за вказаних умов (найголовнішою з яких є достатньо великі глибини) пошук, розвідка і видобуток розглядуваного типу вуглеводнів можливі лише за використання свердловинних технологій.

Необхідними факторами існування покладів нафти і газу є такі наступні: власне кажучи наявність самих вуглеводнів; наявність колекторських властивостей для гірських порід, що вміщують нафту і газ; наявність пасткових умов (іншими словами повинні існувати – флюїдовмісний об'єм, тобто породи-колектори та флюїдоупори, тобто породи-покришки, які екранують поклад вуглеводнів). Нафта та газ поступово накопичуються в пористих, кавернозних або тріщинуватих гірських породах-колекторах, що залягають серед слабо-проникних порід-покришок [3]. Зазначимо тут, що переважно більша частина природного резервуару заповнена так званими седиментаційними водами; вуглеводні, у порівнянні з присутньою в пастці водою, є більш пізніми утвореннями. Вірну відповідь про наявність покладів вуглеводнів у пастці може дати тільки буріння і випробування свердловин відповідної конструкції; причому означене повинно супроводжуватися беззаперечним дотриманням норм екологічної безпеки та захисту навколишнього середовища [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Сучасний етап розвитку нафтогазової промисловості наполегливо вимагає відкриття та експлуатації нових потужних нафтових та газових родовищ (у тому числі нині не залучених до розробки через особливості походження та складність геологічних умов залягання), що може бути досягнуто виключно за деталізованого наукового підходу до вивчення надр [2].

Відповідно до вирішуваної проблематики, прийняті до аналізу літературні джерела інформації та дані промислових організацій [5], беззаперечно доводять, що умови проведення геолого-бурових робіт, скерованих на вирішення вельми актуальних проблем пошуку та розвідки перспективних та промислово-придатних родовищ вуглеводнів постійно змінюються, а методика їх досліджень достатньо швидко ускладнюється.

Наразі ми можемо констатувати, що геолого-пошукові та розвідувальні роботи на нафту і газ проводять на великих (понад 6000 м) глибинах; до вивчення та експлуатації залучаються родовища вуглеводнів розташовані не лише в типових осадових басейнах, а й у кристалічних докембрійських породах; згадані поклади знаходяться як на суші, так і, відповідно до загального визначення, у морських акваторіях [6].

Практика здійснення циклу операцій з промислової розробки родовищ вуглеводнів доводить, що подальший сталий інноваційний розвиток нафтогазодобувної галузі промисловості неодмінно потребує проведення широкомасштабних теоретичних і прикладних науково-технічних досліджень (із залученням значних за обсягом фінансових джерел), результати яких стануть міцним підґрунтям проведення пошуково-розвідувальних робіт [7].

Тільки вичерпні знання з базових фундаментальних та прикладних дисциплін дають змогу геологам та технологам здійснювати обґрунтування складних за змістом і наповненням проєктів розробки родовищ [8]. Швидко орієнтування в питаннях нафтогазопромислової геології та гідрогеології, техніки і технології буріння, екології а також наступної експлуатації нафтових і газових свердловин дозволяє інженерам-практикам створювати раціональні регламенти спорудження свердловин різного призначення та номенклатури із високими техніко-економічними показниками. Не останню роль тут також відіграють питання бурової

механіки, проблематика монтажу (демонтажу) і експлуатації бурових установок, допоміжного обладнання та інструменту, устаткування для виконання ремонтних робіт в свердловині [1].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Нами показано, що забезпечення послідовного інноваційного розвитку нафтової і газової промисловості неодмінно потребує використання бурових свердловинних та інших суміжних робіт з метою здійснення циклів пошуку, детальної розвідки і ефективної розробки нафтових і газових покладів [9].

Техніка і технологія буріння нафтових і газових свердловин, для своєї повної відповідності вимогам значного ускладнення умов спорудження свердловин (збільшення об'ємів глибокого і надглибокого експлуатаційного буріння, необхідність спорудження похило спрямованих і горизонтальних свердловин), повинні постійно удосконалюватися. Виробничий цикл отримання в земних надрах свердловини, як інженерної споруди, є складним та високовартісним, тому ще не стадії проєктування регламенту її будівництва необхідно сформулювати конкретні керівні вимоги до означеної специфічної гірської виробки, як до об'єкту тривалої, ефективної і безаварійної експлуатації, а при її спорудженні забезпечити повне виконання принципів і норм технологічної, виконавчої та екологічної безпеки [10].

Неодмінною обставиною досконалості проєктних рішень щодо створення раціонального регламенту спорудження нафтогазових (і не тільки) свердловин є наявність у інженерного персоналу максимально вичерпних даних щодо: геологічних особливостей розроблюваного родовища; ознак конструкції свердловин з огляду на необхідність їх промивання, кріплення та цементування (можливо, в складних термобаричних та геологічних умовах прояву ускладнень), виконуваних за недопущення проникнення шкідливих компонентів в оточуюче середовище; основних свердловинних процесів, які протікають при бурінні, а також їх впливу на експлуатаційні характеристики нафтогазових пластів при розкритті та випробуванні [11].

На відміну від особливостей виконання робіт з розвідки та освоєння родовищ інших видів корисних копалин, для покладів нафти і газу означені роботи знаходяться в прямій підпорядкованості обґрунтованості вибору доцільного методу буріння і застосовуваного бурового, а також видобувного устаткування. Тут свердловина виступає тим єдиним засобом сполучення із глибоко розташованими земними надрами, який забезпечує доступ до пластових флюїдів, що залягають, до того ж, в багатьох випадках, під великим тиском. Правильний вибір технології і технічних засобів для розробки конкретного родовища нафти і газу залежить від вірності аналізу численних природних та штучних факторів спорудження і експлуатації свердловин [12].

Резюмуючи викладене, можна стверджувати наступне. Нагальними питаннями розвитку розглядуваної галузі є істотне підвищення ефективності спорудження глибоких і надглибоких свердловин різних груп призначення, що полягає в: суттєвому підвищенні геологічної інформативності бурових робіт; вдосконаленні структури техніко-технологічного забезпечення процесу буріння; кардинальному скороченні досить значних витрат на боротьбу зі свердловинними ускладненнями; забезпеченні проєктованої якості кріплення та розкриття продуктивних горизонтів в складних гірничо-геологічних умовах із дотриманням обмежувальних вимог екологічної безпеки.

Мета статті полягає в детальному аналізі послідовного алгоритму створення ефективного та еколого-безпечного регламенту освоєння нафтогазових родовищ із відповідним удосконаленим техніко-технологічним супроводженням циклів розвідувального та експлуатаційного буріння в складних геологічних і гірничотехнічних умовах.

Обґрунтування вживання і опис вибраної автором методики

Проведені аналітичні дослідження виробничих процесів спорудження свердловин на нафту і газ (та їх екологічної складової) проводилися із застосуванням широко випробуваної для вирішення відповідних інженерних завдань послідовності наступних операцій [13]: формулювання завдання і складання розрахункової схеми досліджуваного об'єкту; розробка математичної та фізичної моделей, що описують та відтворюють характер досліджуваних операцій; вибір способу рішення поставлених завдань; рішення основних математичних залежностей процесу з максимальним використанням обчислювального експерименту; проведення адекватних теорії лабораторних досліджень; аналіз отриманих результатів і формулювання тотожних висновків.

Результати дослідження

Необхідно зазначити, що відповідно до норм діючого законодавства, а саме Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» [14], оцінка впливу на довкілля необхідна при прийнятті рішення про так звану «планову діяльність», до якої належать: будівництво, реконструкція, технічне переоснащення, розширення, перепрофілювання, ліквідація (демонтаж) об'єктів, та інше втручання в природне середовище; в нашому випадку роботи відносяться до узагальненої категорії – спорудження та експлуатація свердловин.

В типовому випадку послідовність розробки родовища корисних копалин (для наших умов нафтогазового) складається, укрупнено, з таких комплексних виробничих циклів: геологорозвідувальні роботи; буріння свердловин (категорії розвідувальних та експлуатаційних); видобуток і промислова підготовка вуглеводнів; транспортування та зберігання; переробка. Вплив, того або іншого походження, на довкілля буде відбуватися на усіх перелічених етапах [15].

Таким чином оцінка впливу на довкілля безпосередньо спрямована на формування і реалізацію заходів, метою яких є: запобігання виникненню негативного впливу на навколишнє природне середовище; забезпечення екологічної безпеки, охорони довкілля, раціонального використання і відтворення природних ресурсів у процесі прийняття управлінських рішень про провадження планованої діяльності, яка може мати значний вплив на довкілля, з урахуванням державних, громадських та приватних інтересів [14].

Під час реалізації етапу підготовчих робіт зі спорудження геологорозвідувальних та експлуатаційних свердловин виникає необхідність у раціональному виборі та відповідному плануванні земельних ділянок для влаштування бурових майданчиків (рис. 1). Вказані роботи, зокрема, полягають у зрізуванні родючого шару з поверхні будівельного майданчика і переміщенні його за межі ділянки проведення робіт для складування; при будівництві свердловин на родючих землях активного сільгоспкористування необхідно знімати та окремо зберігати родючий шар для подальшої рекультивациі [16].

Необхідно зауважити, що надання земельних ділянок під спорудження свердловин у тимчасове користування здійснюється на весь період проведення бурових робіт, після чого вони мають бути повернуті користувачеві землі у стані, придатному для подальшого сільськогосподарського використання.

Процеси буріння свердловин, з екологічної точки зору, можна вважати впливом на геологічне середовище, який за розробки нафтогазових родовищ [17], виявляється у вигляді порушень нормативного стану геологічного розрізу свердловин при виконанні в них відповідних операцій технологічного циклу.

Уникнути негативного впливу на означене геологічне середовище можна за рахунок застосування раціональних конструкцій свердловин, які передбачають послідовне перекриття пробурених інтервалів згідно сумісного графіку тисків (рис. 2) до проектних глибин обсадними колонами [18].



Рис. 1. Приклади облаштування бурових майданчиків та їх плануванні за умов використання земель активного сільгоспкористування (розвідувальні та експлуатаційні свердловини)

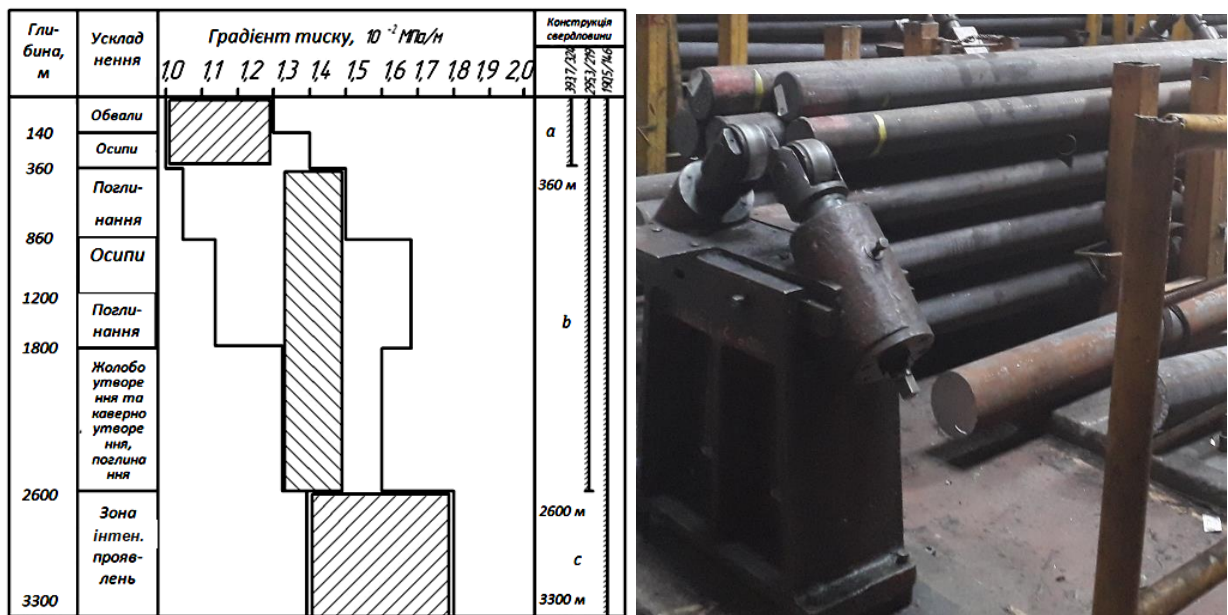


Рис. 2. Умовний графік зміни коефіцієнтів аномальності пластових тисків і індексів тисків початку поглинання промивальної рідини та обсадні труби

Із метою запобігання прояву затрубного руху пластових флюїдів із наступним засміченням водоносних горизонтів, а також міграції вуглеводнів в приповерхневі пласти, обсадні колони цементуються високоміцними тампонажними портландцементами до гирла свердловини (табл. 1).

В табл. 2 представлено основні технологічні показники тампонажного цементу (адаптованого до наявності хемогенних відкладів в геологічному розрізі свердловини), та утворюваного з нього цементного каменю [19].

Таблиця 1. Типова характеристика конструкції свердловини

Назва колони	Діаметр колони, мм	Глибина спуску колони, м	Інтервал цементування від башмака, м	Діаметр долота, мм
Напрямок	630	10	До гирла	-
Кондуктор	324	360	До гирла	393,7
Проміжна	219	2600	До гирла	295,3
Експлуатаційна	146	3300	До гирла	215,9

Таблиця 2. Характеристика рецептури тампонажного розчину та механічних властивостей цементного каменю

Назва показника		Значення показника
Густина цементного розчину, кг/м ³		1810
Розтічність цементного тіста, мм		220
Водовідділення, мл		0
Водовіддача, см ³ /30 хв		36
Температура досліджень, °С		60
Час загуснення до 30 одиниць Бердена, год-хв		5-10
Терміни тужавлення, год-хв, (початок / кінець)		6-50 / 7-45
Міцність цементного каменю, МН/м ² , у віці однієї доби	при вигинанні	5,2
	при стисканні	14,2
Міцність цементного каменю, МН/м ² , у віці двох діб	при вигинанні	7,02
	при стисканні	20,6
Розширення, %		0,6
Проникність, 10 ⁻¹⁵ м ²		0,0127

Позначимо тут, що найбільш небезпечним для геологічного середовища можуть бути інтенсивні неконтрольовані нафтогазопроявлення, особливо у випадку їх переходу у відкрите фонтанування (відмічене може статися при розкритті високонапірних нафтогазоносних горизонтів) [20]. Для запобігання виникнення вказаних явищ, технологією буріння (що повністю відображена в геолого-технічному проєкті на спорудження свердловини) повинно бути передбачено застосування комплексних техніко-технологічних рішень, а саме: вибір раціональної конструкції свердловини, яка повністю унеможливує гідророзрив розкритих свердловиною гірських порід; надійна герметизація гирла відповідним противикидним обладнанням (рис. 3); підбір типорозміру та матеріалу труб обсадної колони, виходячи з очікуваного максимально можливого тиску на гирлі свердловини в процесі буріння останньої

і випробування на приплив пластових флюїдів; обґрунтування технологічних параметрів промивальної рідини, що забезпечують (серед іншого) створення необхідного гідростатичного тиску в свердловині, перевищуючого пластовий.



Рис. 3. Конструкція противикидного обладнання (превентора) та приклад його встановлення на гирлі свердловини

Вибір типу промивальної рідини та хімічних реагентів для її обробки, які не допускають активний прояв порушення цілісності стовбура споруджуваної свердловини та попереджають виникнення фільтраційних явищ, повинен здійснюватися на підставі вивчення фізичних властивостей відповідних гірських порід та характеру їх поведінки в активному середовищі (табл. 3).

Таблиця 3. Рекомендовані для конкретних геолого-технічних умов типи промивальних рідин

Варіант прояву ускладнення	Типові гірські породи	Рекомендовані промивальні рідини
Обвали, розмив	Піски	Глинясті розчини з підвищеною кількістю твердої фази, обважені розчини
Обвали, набухання, пластична течія, розмив	Суглинки, глини	Інгібовані глинясті розчини
Обвали, осипи, слабе набухання, пластична течія, розмив	Сланці глинясті	Інгібовані глинясті розчини із зниженою водовіддачею
Обвали, осипи, слабкий розмив, вивали	Сланці піщано-глинясті	Глинясті розчини, полімерні, комбіновані

Для виконання промивальними рідинами своїх завдань (вони повинні володіти тиксотропними властивостями – легко прокачуватись; бути інертними до гірських порід; мати

широкий діапазон регулювання густини; кольматувати пори і тріщини в стінках свердловини тощо), їх необхідно піддавати спеціальній хімічній обробці відповідними реагентами (табл. 4).

Таблиця 4. Деякі характеристики застосовуваних для хімічної обробки промивальних рідин реагентів-регуляторів

Найменування застосовуваного реагенту	Вид поставки реагенту	Як використовується	Рекомендовані концентрації (в перекладі на вихідний продукт)	Побічна дія
Понижувачі водовіддачі				
Вугле-лужний реагент (ВЛР)	Рідкий (ВЛР)	В вихідному виді	5–20%	Розріджує дисперсні системи
Концентрована сульфат-спиртова барда (КССБ)	Рідкий (КССБ)	В вихідному виді	3–10% (в прісних розчинах)	
	Порошкоподібний (КССБ)	В вихідному виді	1–3% (в прісних розчинах)	
	Порошкоподібний (КССБ-1)	В вихідному виді	1–4% (в прісних і висококальцієвих)	
	Порошкоподібний (КССБ-2)	В вихідному виді	1–5% (в мінералізованих)	
Порошкоподібний (КССБ-3)	В вихідному виді	1–6% (в мінералізованих при t до 200 ⁰ C)		
Карбоксиметилцелюлоза (КМЦ)	Порошкоподібний (КМЦ-500)	В замоченому в воді виді в відношенні 1:10	0,5–1,0% в прісних і мінералізованих при рН = 8 - 10	Підвищує в'язкість дисперсних систем
	Те ж (КМЦ-600)		1,0–2,0% в високомінералізованих	
	Те ж (КМЦ-700)		1,0–2,5% в високомінералізованих	Підвищує в'язкість дисперсних систем, використовується для виготовлення малоглинистих розчинів
Інгібітори глини і глинистих порід				
Хлористий калій KCl	Кристалічний	У вигляді водного розчину	3–7%	Приводить до гідрофобної коагуляції
Хлористий кальцій CaCl ₂	Кристалічний		1,5–3,0%	

Найменування застосовуваного реагенту	Вид поставки реагенту	Як використується	Рекомендовані концентрації (в перекладі на вихідний продукт)	Побічна дія
				глинястих розчинів
Мастильні добавки				
Сульфанол НП-1	Гранульований, порошкоподібний, пастоподібний, рідкий	У вигляді водного розчину 1% концентрації	0,05–0,2%	Мас виражену емульгуючу дію
Емульгатори				
Емульсол лісохімічний ЕЛ-4	Пастоподібна речовина	У вигляді водного розчину	0,5–5,0% в водах підвищеної жорсткості	Мас мастильну дію
Емульсол нафтохімічний ЕН-4			1.0–5.0% в жорстких водах	

Виходячи з наведених в табл. 4 даних, можна зробити висновок про те, що промивальні рідини містять у своєму складі активні хімічні компоненти, проникнення в ґрунт яких неприпустимо; тому з метою недопускання попадання фільтрату промивальних рідини, хімічних реагентів-регуляторів, стічних вод, площадки під буровою установкою, силовими та енергетичними агрегатами, насосними установками, блоком приготування та регенерації промивальних рідин, складом хімічних реагентів повинні бути викладені залізобетонними плитами, щілини між якими необхідно загерметизувати цементним розчином або бетоном на товщину застосовуваних плит. Доставляння застосовуваних при обробці промивальних рідин і тампонажних розчинів хімічних реагентів-регуляторів на буровий майданчик необхідно передбачати в герметичній тарі, яка унеможливує прояв негативного впливу на навколишнє середовище та обслуговуючий персонал від випаровування, розпорошування активних хімічних сполук при вантажних роботах.

Недопущення забруднення приповерхневих водоносних горизонтів відходами буріння (відпрацьовані промивальні рідини, буровий шлам тощо), ґрунтується на необхідності їх тимчасового зберігання в спеціальних земляних обвалованих та гідроізольованих шламових амбарах (рис. 4).



Рис. 4. Приклади шламових амбарів при спорудженні свердловин

Таким чином, перелічені екологічні заходи покликані забезпечити захист ґрунту і підземних вод від проникнення в них поверхневих забруднювачів у вигляді фільтрату промивальних рідин та активних хімічних компонентів останніх і нафти, а також будуть зберігати геологічне середовище від негативного впливу процесів та явищ геологічного і техногенного характеру.

Висновки

1. Представлена робота є аналітичним дослідженням ключових питань створення ефективної, з позицій технології спорудження свердловин та екологічної безпеки, програми розробки родовищ нафти і газу.

2. Пропонована наукова стаття містить відомості про порядок організації робіт при спорудженні свердловин та його техніко-технологічне супроводження, що в комплексі дозволяють уникати ускладнень та аварій.

3. Кожній з складнобудованих операції технологічного циклу спорудження свердловин на нафту і газ та інших суміжних робіт, надано опис відповідного екологічного аспекту захисту оточуючого середовища.

4. Подальше удосконалення операцій виробничого циклу спорудження розвідувальних та експлуатаційних свердловин в обов'язковому порядку повинно супроводжуватися ґрунтовною розробкою відповідних заходів з недопущення порушення технологічної послідовності та екологічної рівноваги виконання робіт на конкретній промисловій ділянці.

A. Pavlychenko, A. Ihnatov, Ye. Koroviaka, I. Askerov

National Technical University «Dnipro Polytechnic»

BASIC TECHNICAL, TECHNOLOGICAL AND ECOLOGICAL ASPECTS OF THE CONSTRUCTION PRODUCTION WELLS

The issues of ensuring proper environmental protection and subsoil protection will be effectively resolved if the geological structure of a particular field is taken into account, the necessary equipment and materials are reasonably selected, and advanced methods of discovering and developing productive horizons are applied.

The paper provides a detailed analysis of the sequential algorithm for creating an effective and environmentally friendly regulation for the development of oil and gas fields with the corresponding improved technical and technological support for exploration and production drilling cycles in complex geological and mining conditions.

The obtained results of thorough analytical and laboratory research, as well as some generalizations of literature data, are the basis for designing technical support and technological parameters of oil and gas development processes. When developing projects for the development of mineral deposits, special attention should be paid to environmental protection through the implementation of comprehensive measures for the rational use of natural resources, as proved in the presented work.

Key words: *well, mud fluid, rock, ecology safety, well cement, bottom hole, operating cycle, chemical reagent, drill cuttings, hydrocarbons.*

Література

1. Коровяка Є.А., Ігнатов А.О. Прогресивні технології спорудження свердловин. Дніпро: НТУ «ДП», 2020. 166 с.
2. Ouadfeul S. Aliouane L. Oil and Gas Wells. IntechOpen, 2020. 325 p.
3. Matthew J. Hatami P. E. Oilfield Survival Guide. Oilfield Books, LLC, 2017. 325 p.
4. Дядін Д.В., Журавель М.Ю., Клочко П.В. Оцінка стану доквілля на ділянках аварійних свердловин. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2018. Вип. 1. С. 4–13.

5. Ihnatov A. Analyzing mechanics of rock breaking under conditions of hydromechanical drilling. *Mining of Mineral Deposits*. 2021. Vol. 15, N 3. P. 122–129.
6. Aziukovskyi O.O., Koroviaka Ye.A., Ihnatov A.O. Drilling and operation of oil and gas wells in difficult conditions. – Dnipro: Zhurfond, 2023. – 159 p.
7. Ihnatov A.O., Koroviaka Ye.A., Haddad J., Tershak B., Kaliuzhna T., Yavorska V. Experimental and theoretical studies on the operating parameters of hydromechanical drilling. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2022. N 1. P. 20–27.
8. 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.
9. Vaddadi, N. Introduction to oil well drilling. Bathos (U Vee Infosystems), 2015. 204 p.
10. Дрозд, О.М., Журавель, М.Ю., Найдьонова, О.Є., Леженіна, І.П., Полчанінова, Н.Ю. Визначення локальних змін підтримувальної екосистемної послуги ґрунтів територій нафтогазовидобутку. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2018. Вип. 2. С. 14–25.
11. Azar J.J., Robello S.G. Drilling Engineering. PennWell Corporation, 2007. 486 p.
12. Lopez J. C., Lopez J. E., Javier F. Drilling and blasting of rocks. CRC Press Taylor & Francis, 2017. 408 p.
13. Lyes B. Reconfigurable Manufacturing Systems: From Design to Implementation. *Springer Series in Advanced Manufacturing*. 2020. P. 250.
14. Про оцінку впливу на довкілля: Закон України від 23.05.2017 р. № 2059-VIII : станом на 7 верес. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text> (дата звернення: 12.10.2023).
15. Маркіна Н. К., Горишнякова Я. В., Пилипенко Л. В., Сидельник О. С., Петік В. О. Наукове обґрунтування умов реалізації водоохоронних заходів при забрудненні водного середовища рідкими та розчиненими нафтопродуктами. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. 2022. № 44. С. 110–119.
16. Мислюк М.А., Рибчич І.Й., Яремійчук Р.С. Буріння свердловин. Довідник: у 5 т. Т. 5: Ускладнення. Аварії. Екологія. К.: «Інтерпрес ЛТД», 2004. 294 с.
17. Павличенко А.В., Коровяка Є.А., Ігнатів А.О., Давиденко О.М. Гідрогазодинамічні процеси при спорудженні та експлуатації свердловин. Дніпро: НТУ «ДП», 2021. 201 с.
18. Коцкулич Я.С., Тищенко О.В. Закінчування свердловин. К.: Інтерпрес ЛТД, 2004. 366 с.
19. Ігнатів А.О., Ставичний Є.М. Лабораторні та промислові дослідження процесу цементування нафтогазових свердловин в умовах товщ осадових порід. *Інструментальне матеріалознавство*. Зб. наук. пр. Вип. 23. К.: ІНМ ім. В.Н. Бакуля НАН України, 2020. – С. 88–103.
20. Robertson J.O. Chilingar G.V. Environmental aspects of oil and gas production. Scrivener publishing, 2017. 396 p.

Надійшла 13.10.23

References

1. Koroviaka, Ye.A. & Ihnatov, A.O. (2020). *Prohresyvni tekhnolohii sporudzhennia sverdlovyv [Advanced well construction technologies]*. Dnipro University of Technology [in Ukrainian].
2. Ouadfeul, S. & Aliouane, L. (2020). *Oil and Gas Wells*. IntechOpen.

3. Matthew, J., & Hatami, P. E. (2017). *Oilfield Survival Guide*. Oilfield Books, LLC.
4. Diadin, D. V., Zhuravel, M. YU., & Klochko, P. V. (2018). Otsinka stanu dovkillia na diliankakh avariinykh sverdlovyh [Assessment of the state of the environment in areas of emergency wells]. *Environmental safety and balanced resource use, 1*, 4–13 [in Ukrainian].
5. Ihnatov, A. (2021). Analyzing mechanics of rock breaking under conditions of hydromechanical drilling. *Mining of Mineral Deposits, 15*(3), 122–129.
6. Aziukovskyi, O.O., Koroviaka, Ye.A., & Ihnatov, A.O. (2023). *Drilling and operation of oil and gas wells in difficult conditions*. Zhurfond.
7. Ihnatov, A.O., Koroviaka, Ye.A., Haddad, J., et al. (2022). Experimental and theoretical studies on the operating parameters of hydromechanical drilling. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 1*, 20–27.
8. Ihnatov, A., Koroviaka, Ye., Rastsvietaiev, V., et al. (2021). Development of the rational bottomhole assemblies of the directed well drilling. Gas Hydrate Technologies: Global Trends, Challenges and Horizons-2020. E3S Web of Conferences, 230, 01016. Retrieved from <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202123001016>.
9. Vaddadi, N. (2015). *Introduction to oil well drilling*. Bathos (U Vee Infosystems).
10. Drozd, O. M., Zhuravel, M. YU., Naidonova, O. YE., et al. (2018). Vyznachennia lokalnykh zmin pidtrymuvalnoi ekosystemnoi posluhy gruntiv terytorii naftohazovydobutku [Determination of local changes in the supporting ecosystem services of soils in oil and gas production areas]. *Environmental safety and balanced resource use, 2*, 14–25 [in Ukrainian].
11. Azar, J.J., & Robello, S.G. (2007). *Drilling Engineering*. PennWell Corporation.
12. Lopez, J. C., Lopez, J. E., & Javier, F. (2017). *Drilling and blasting of rocks*. CRC Press Taylor & Francis.
13. Lyes, B. (2020). *Reconfigurable Manufacturing Systems: From Design to Implementation*. Springer Series in Advanced Manufacturing.
14. Pro otsinku vplyvu na dovkillia, Zakon Ukrainy [On Environmental Impact Assessment, Law of Ukraine] № 2059-VIII (2023) (Ukraine) [in Ukrainian].
15. Markina, N., Horyshniakova, YA., Pylypenko, L., et al. (2022). Naukove obgruntuvannia umov realizatsii vodookhoronnykh zakhodiv pry zabrudnenni vodnoho seredovyscha ridkymy ta rozchynenymy naftoproduktamy [Scientific substantiation of the conditions for the implementation of water protection measures in case of pollution of the aquatic environment with rare and dissolved petroleum products]. *Problems of environmental protection and environmental safety, 44*, 110–119. [in Ukrainian].
16. Mysliuk, M.A., Rybchych, I.I., Yaremiichuk, R.S. (2004). Uskladnennia. Avarii. Ekolohiia [Complications. Accidents. Ecology]. Interpres LTD [in Ukrainian].
17. Pavlychenko, A.V., Koroviaka, Ye.A., Ihnatov, A.O. & Davydenko, A.N. (2021). *Hidrohazodynamichni protsesy pry sporudzhenni ta ekspluatatsii sverdlovyh: monograph [Hydro-gas-dynamic processes during the construction and operation of wells]*. Dnipro University of Technology [in Ukrainian].
18. Kotskulych, Ya.S., & Tyshchenko, O.V. (2004). *Zakinchuvannia sverdlovyh [Well completion]*. Interpres LTD [in Ukrainian].
19. 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*. (23rd Issue, p. 88 – 103) [in Ukrainian].
20. Robertson, J.O. & Chilingar, G.V. (2017). *Environmental aspects of oil and gas production*. Scrivener publishing.