

19. Kuzin, Yu. L., & Sudakova, D. A. (2016). O vozmozhnosti primeneniia bytovykh otkhodov dlia izolyatsii pohloshchayushchikh gorizontov burovykh skvazhin [On the possibility of using household waste to isolate absorbing horizons of boreholes]. *Porodorazrushaiushchii i metallobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiia ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications*, 19, 92–96. [in Russian].
20. Isakova, M. & Sudakova, D. (2016). Thermoplastic materials on the basis of polyethyleneterephthalate. Proceedings from *11nd International Forum for Students and Young Researchers (april 2016)*. (p. 62). Dnepropetrovsk: NGU.
21. Sudakov, A., Dreus, A., Sudakova, D., & Khamininch O. (2018). The study of melting process of the new plugging material at thermomechanical isolation technology of permeable horizons of mine opening. Proceedings from *E3S Web of Conferences*. (vol. 60, pp. 1–10): doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000027>.
22. Sudakova, D. A. (2017). Mekhanicheskie svoistva tamponazhnoho termoplastichnoho materiala na osnove polietilentereftalata [Mechanical properties of grouting thermoplastic material based on polyethylene terephthalate]. *Visti Donetskoho hirnychoho institutu – Proceedings of the Donetsk Mining Institute*, 2, 107–116 [in Russian].
23. Sudakova, D. A. (2018). Rezultaty stendovykh issledovaniy termomekhanicheskoi tekhnologii izolyatsii pohloshchayushchikh gorizontov tamponazhnimi termoplastichnymi kompozitsionnymi materialami [The results of bench studies of thermomechanical technology for isolating absorbing horizons with backfill thermoplastic composite materials]. *Zbirka naukovikh prats Natsionalnoho hirnychoho universitetu – Collection of scientific works of the National Mining University*, 54, 285–296 [in Russian].
24. Kuzin, Yu. L., & Sudakova, D. A. (2017). Termomekhanichni sposib tamponuvannia pronyknykh horyzontiv burovykh sverdlovyh. *Porodorazrushaiushchii i metallobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiia ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications*, 20, 98–102 [in Ukrainian].
25. Sudakova, D.A. (2018). Obhruntuvannia parametriv izoliatsii pohlynaiuchykh horyzontiv burovykh sverdlovyh [Justification of the isolation parameters of absorbing horizons of boreholes]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Ivano-Frankivsk [in Ukrainian].

УДК 622.243.95

DOI: 10.33839/2708-731X-25-1-53-65

А.О. Ігнатов, канд. техн. наук

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ РЕАЛІЗАЦІЇ ГІДРОМЕХАНІЧНОГО СПОСОБУ БУРІННЯ

Розглянуто сучасні напрямки проведення дослідницьких та конструкторських робіт в області широкого впровадження в бурову справу елементів фізичних способів руйнування гірського масиву. Відносно особливостей структурно-технічного виконання окремих вузлів розглянутих пристроїв, висвітлено основні технологічні чинники їх раціонального функціонування в різних свердловинних умовах. Детальними дослідженнями переконливо доведено існування тісного зв'язку між фактором наявності для осьового навантаження на породоруйнівний інструмент динамічної складової та можливою інтенсифікацією руйнівних процесів. Конкретними прикладами показано провідну роль

окремих властивостей бурового розчину в реалізації умов посилення ефективності протікання вибійних руйнівних процесів. Переконаливо доведено, що оскільки основним фактором гідро(пневмо)механічного буріння є значний ступінь розвитку руйнівних процесів, їх інтенсифікація може бути досягнута за рахунок спрямованого фізико-хімічного впливу поверхнево-активного середовища. Виконано експериментальні дослідження з вивчення розвитку і результатів поверхневих взаємодій – адсорбції на межі розділу фаз як основного чинника сталого руйнування гірського масиву.

Вивчення особливостей функціонування пристроїв гідро(пневмо)механічного буріння базувалося на використанні комплексних аналітико-лабораторних методів. Дослідження процесів руйнування гірських порід різної твердості виконано із застосуванням сучасних методів аналітичного аналізу й експериментальних досліджень, зокрема шляхом використання методів математичного й фізичного моделювання, методик обробки результатів досліджень у програмному супроводженні SolidWorks, STATGRAPHICS, MATHCAD, контрольних-вимірювальних приладів і відповідних завданням матеріалів.

Викладені результати лабораторно-експериментальних досліджень (стосовно механізму протікання дезінтеграційних і поверхневих фізико-механічних процесів) є базовими для проектування режимних параметрів програми руйнування і промивання свердловин гідромеханічного буріння та належать до основних вихідних даних, що застосовуються при обґрунтуванні конструктивних і техніко-технологічних характеристик відповідних модернізованих пристроїв. Отримані результати досліджень виступають основою для обґрунтованого проектування режимних параметрів процесу поглиблення свердловини за рахунок використання гідро(пневмо)механічних пристроїв та можуть слугувати вихідними положеннями для розробки оптимальних конструктивних і технологічних параметрів розглядуваних пристроїв.

Ключові слова: гідро(пневмо)механічне буріння, гірська порода, вибій, свердловина, очисний агент, породоруйнівні кулі, механічна швидкість поглиблення, поверхнево-активна речовина, адсорбція, дезінтеграція.

Вступ

Проведення будь-яких робіт, що пов'язані із пошуком, розвідкою та розробкою родовищ майже всього різноманіття корисних копалин, неодмінно супроводжується доволі масштабним застосуванням бурових свердловинних технологій [1]. Причиною цього є великий ступінь спеціалізації свердловин до конкретних промислових потреб, а саме: отримання геологічної інформації за рахунок підняття зі стовбуру свердловини кернів гірських порід (саме вони є основою подальших геохімічних досліджень); створення надійного експлуатаційного каналу зв'язку між продуктивним пластом і відповідним поверхневим видобувним обладнанням; застосування бурових свердловин в якості об'єктів розміщення речовин і матеріалів, що інтенсифікують руйнівні процеси; реалізація свердловинних прийомів ліквідації різних ускладнень, які виникають у гірському масиві за виконання розвідувально-видобувних бурових та інших суміжних робіт [2].

Природно, такий стан речей зумовив появу цілого спектру, насамперед, способів буріння (класифікаційною ознакою для них, здебільшого, слугує метод руйнування гірського масиву), сфера застосування яких визначається особливостями сформульованого геолого-технічного завдання та кінцевою метою спорудження свердловини. Тут необхідно зазначити, що перед технологіями-проектувальниками повстає складна комплексна задача розроблення оптимального алгоритму спорудження свердловин, базовими принципами якого є, підкреслимо, раціоналізація показників механічної швидкості поглиблення, підтримка яких не тягне за собою жодних втрат у вичерпному виконанні означеною виробкою геологічного завдання та зберігає усі потенційні можливості максимальної відповідності вимогам щодо експлуатаційної придатності [3].

Розглянуті джерела науково-технічної інформації стосовно сучасного стану справ у буровій практиці беззаперечно доводять існування значного попиту на прогресивні методи отримання гірських виробок і, насамперед, свердловин [4]. Причому за головний фактор, який

визначає придатність інноваційного прийому отримання означених специфічних виробок, приймаються належні виправдані техніко-економічні показники. Останні є багатозначними, проте серед них особливої уваги заслуговують такі: витрати часу на виконання спуско-підіймальних операцій (СПО); розробка досконалого породоруйнівного інструменту тощо. Зазначені питання і є тими основними напрямками значної кількості робіт, в яких вирішуються питання оптимізації технологічного циклу спорудження свердловин [5].

Проблематика скорочення часу (а разом з тим і рівня витрат потужності) на виконання СПО вирішується шляхом використання прийомів виключення необхідності підйому бурильної колони задля витягання керну (зазначимо, що це стосується в більшості випадків геологорозвідувального колонкового буріння); тут більш всеосяжним рішенням є застосування знімного бурового інструменту або таких вибійних інструментальних компонувань, які дозволяють виключити необхідність наявності у них швидкозношуваних елементів конструкції [6]. З такої точки зору згадані раніше техніко-економічні показники об'єднуються в єдину групу, аналіз змісту якої дозволяє говорити про потреби в розробці технологічного супроводження бурових робіт, заснованого на застосуванні безінструментального руйнування гірського масиву [7]. Відмічене повністю відноситься до так званих фізичних способів поглиблення, які дозволяють проводити обробку вибою споруджуваної свердловини за допомогою різних активних впливів: теплового, електричного, хімічного, швидкісного (гідравлічно-активованими струменями рідини із можливим уведенням до їх складу деякого абразивного матеріалу).

Бурові технології, які використовують різні за фізичним походженням методи впливу на породний вибій свердловини, ще не стали такими, що здатні скласти реальну конкуренцію нині застосовуваним механічним способам, проте вони відзначаються переконливими перевагами, сутність яких у кінцевому підсумку зводиться до наявності значного експлуатаційного ресурсу для бурового робочого руйнівного інструменту [8].

Не вдаючись до розгляду подробиць технічного супроводження фізичних способів буріння, його можна охарактеризувати як порівняно нескладне (від способу до способу технічні конструктивні ознаки, звісно, трансформуються), однак дещо ускладненим здається, і тому є маса переконливих виробничих свідчень, їх технологічний ланцюжок реалізації [9]. Саме на останньому і необхідно зробити наголос. Сутність застосування фізичних полів з метою розширення діапазону впровадження в гірничу галузь спорудження свердловин повинна полягати в інтенсифікації руйнівних процесів у різних комбінаціях комплексного впливу на гірську породу, в т.ч. із застосуванням механічних руйнівних органів. Яскравим прикладом вказаного є конструкції бурових кулеструминних снарядів (таких, що використовують енергію удару куль, гідравлічно розігнаних та залучених в особливий контакт із породою, для руйнування гірського масиву), які реалізують комплексну технологію механо-гідравлічної обробки вибою споруджуваної свердловини [10]. Вони дозволяють проводити паралельно процеси руйнування центральної і периферійної частин вибою свердловини за різними технологічними схемами, проте із сталим збереженням фактору суттєвого значення ресурсу стійкості породоруйнівного органу. Заслужує на особливу увагу і закладений в основу конструкції пристроїв механізм руйнування – він відзначається значною динамічністю, яка дозволяє отримувати більш масштабний розвиток руйнівних явищ в породному масиві.

Експериментально показано і теоретично доведено, що саме попередня деформованість вибою свердловини, яку виражає наявність руйнівних тріщин, і є тим впливовим важелем, який дозволяє суттєво інтенсифікувати поглиблення вибою свердловини [9]. Також відмітимо, що зазначені процеси не обмежуються тільки розвитком так званих ударних деформацій. Вони можуть бути додатково підсилені цілеспрямованим корегуванням режимних параметрів функціонування кулеструминних пристроїв; застосуванням породоруйнівних куль спеціального виконання; регулюванням фізико-хімічних властивостей циркуляційного бурового агенту; конструктивним удосконаленням різних ланок проєктованих

кулеструменевих пристроїв. Вказані питання, в тому чи іншому форматі, отримали своє трактування, проте процеси їх техніко-технологічної адаптації доволі складні і потребують більш досконалого вивчення з перспективою подальшого ефективного впровадження в практику спорудження свердловин.

Мета статті – детальне аналітико-лабораторне і стендове вивчення основних закономірностей функціонування породоруйнівних органів інноваційних пристроїв гідро(пневмо)механічного буріння в породах, що значно різняться за показниками міцності, та розробка на їх основі раціонального техніко-технологічного регламенту спорудження свердловин геологорозвідувального і експлуатаційного призначення із високими показниками швидкості поглиблення вибою.

Методики досліджень

Порядок вивчення особливостей функціонування докорінно модернізованих пристроїв гідро(пневмо)механічного буріння базувався на використанні комплексних аналітико-лабораторних методів. Дослідження елементарного акту руйнування гірських порід різної твердості (з урахуванням багатофакторності дії супутніх техніко-технологічних чинників) виконано із застосуванням сучасних методів аналітичного аналізу й експериментальних досліджень, зокрема шляхом використання методів математичного й фізичного моделювання, методик моделювання та обробки результатів досліджень у середовищі SolidWorks, STATGRAPHICS, MATHCAD, контрольно-вимірювальних приладів і відповідних завданням матеріалів [11].

Процес розв'язання задач оптимального планування експерименту поділявся на такі етапи: складання моделі; підготовка необхідних вихідних даних; розрахунок моделі; отримання результатів [12].

Протікання свердловинних породоруйнівних процесів моделювалось на спеціальному лабораторному стенді, який обладнано контрольно-вимірювальним блоком (витратомір, манометр, тахометр, координатник).

Параметри процесу адсорбції активних речовин з водних розчинів на поверхні досліджуваних порід вивчалися на їх порошках, для чого експериментально визначалося оптимальне співвідношення між масою твердої фази і об'ємом розчину, а також час встановлення адсорбційної рівноваги. Обчислення конкретних величин параметру адсорбції проводилося шляхом вимірювання оптичної густини досліджуваного розчину до та після відповідної взаємодії, за пропускання крізь нього монохроматичного світла.

Результати дослідження

Досить неглибокий аналіз особливостей технологічного режиму спорудження свердловин беззаперечно доводить, що в більшості випадків є доцільною підтримка певних дійових умов руйнування породи на вибої означеної гірської виробки [13]. Більш детально це можна пояснити наступним чином: головним фактором ефективності поглиблення вибою свердловини є об'ємний характер руйнування його породного масиву; застосування поверхнево-активних речовин (ПАР) – понижувачів твердості дозволяє значно наростити рівень механічної швидкості буріння [14]; раціональна й обґрунтована висока швидкість проходки свердловини надає можливість уникнення значного прояву та стрімкого розвитку ускладнень в її стовбурі; покращення ходу відпрацювання породоруйнівного інструменту є необхідним чинником оптимізації витрат потужності та матеріалів (різного техніко-технологічного спрямування). Саме відносно вказаного і ведуться основні конструкторсько-дослідницькі та аналітично-стендові роботи стосовно вдосконалення вибійних процесів руйнування гірської породи.

Незважаючи на те, що останнім часом запропоновано, серед іншого, сучасні й прогресивні конструкції породоруйнівного інструменту [15], їх, на жаль, відрізняє висока вартість та обмеженість щодо геолого-технічних умов використання (відносно особливих фізико-механічних властивостей гірського масиву, викликаних наявністю явищ сильного

абразивного зношування інструментального озброєння, тріщинуватість, шаруватість, сланцюватість й присутність серйозних тектонічних порушень); крім того, бурова справа також відзначається деякою проблематичністю побудови технологічного циклу (насамперед це проявляється в надмірній складності поверхневого оперативного і ефективного регулювання режимних параметрів на вибої свердловини). Запропонованому гідро(пневмо)механічному способу буріння, із відповідним технічним супроводженням, властива відсутність вказаних недоліків, або їхній невеликий ступінь. Саме конструктивне виконання, а також алгоритм режимного відпрацювання дозволяють в широких межах проводити досить швидко адаптацію гідро(пневмо)механічного способу до певних геолого-свердловинних умов (до прикладу, швидка оперативна заміна типу породоруйнівних куль; направлене корегування частотно-силових характеристик взаємодії елементів групи озброєння із породним вибоєм; цілеспрямоване регулювання властивостей циркулюючого очисного агенту; варіювання умов реалізації вибійних руйнівних процесів за рахунок трансформації протікання елементарного акту дезінтеграції гірської породи).

Вказані обставини доволі багатofакторні та потребують свого теоретично-стендового вивчення і трансформації в конкретні рекомендації техніко-технологічного характеру [8].

Твердо доведено, що комбінування значних статичних осьових зусиль (необхідність наявності яких є ознакою більшості суто механічних способів дезінтеграції гірського масиву) із додатковим уведенням динамічної складової дозволяє значно трансформувати зміст та результати вибійних руйнівних процесів. Зазначене можна без обмежень віднести до тих моделей гідро(пневмо)механічних пристроїв для буріння, які містять у своєму компонуванні вузли – генератори ударів різної частоти і амплітуди [16].

В табл. 1 відображено узагальнені експериментальні значення механічної швидкості поглиблення вибою модельної свердловини u , які досить виразно ілюструють характер протікання руйнівних процесів в певних фізико-технологічних умовах.

Таблиця 1. Технологічні характеристики процесу взаємодії спеціалізованої бурової коронки гідромеханічного кулеструмінного пристрою з породним масивом

Найменування досліджуваної породи	Фізичний стан вибою модельної свердловини	Наявність динамічної компоненти для осьового зусилля	Режимні параметри процесу руйнування гірських порід					
			Осьове навантаження на спеціалізовану бурову коронку C , Н/мм ²					
			2	3	4	2	3	4
			Частота обертання спеціалізованої бурової коронки n , хв ⁻¹					
			225			370		
			Швидкість поглиблення вибою модельної свердловини u , мм/хв					
граніт крупнозернистий	монолітний	відсутня	5,36	5,49	5,66	6,52	7,03	7,16
	деформований		6,86	7,08	7,3	8,76	9,48	9,68
	монолітний	присутня	5,38	6,26	6,92	7,28	7,68	8,04
	деформований		7,02	8,94	8,84	9,68	10,62	10,96

Представлені дані (табл. 1) отримані для випадку руйнування модельного гірського масиву без накладення ударних імпульсів, і з такими. Останнє можливо для випадків підключення до роботи гідрударного пристрою, причому режим його функціонування є високочастотним (для досліджень регулювання величини кількості ударів складала від 40 до 50 с⁻¹). Аналіз безпосередньо значень швидкості поглиблення вибою u дозволяє сформулювати

кілька показових висновків: ефективність роботи спеціалізованої бурової коронки визначається параметрами частоти її обертання, величиною створюваного осьового навантаження та присутністю для нього атрибута динамічності, позаяк їх взаємопов'язане збільшення автоматично викликає зростання швидкості поглиблення вибою; винятково яскраво це простежується для попередньо деформованого породного масиву, означений стан якого є результатом взаємодії із ним гідравлічно-розігнаних куль спеціальним струминним вузлом розглядуваного пристрою [17].

Характеристична графічна залежність, наведена на рис. 1, висвітлює дані стендових досліджень відносно сутності розвитку руйнівних явищ для породи дещо іншого петрографічного походження – дрібнозернистого граніту; умови проведення експериментів залишилися незмінними.

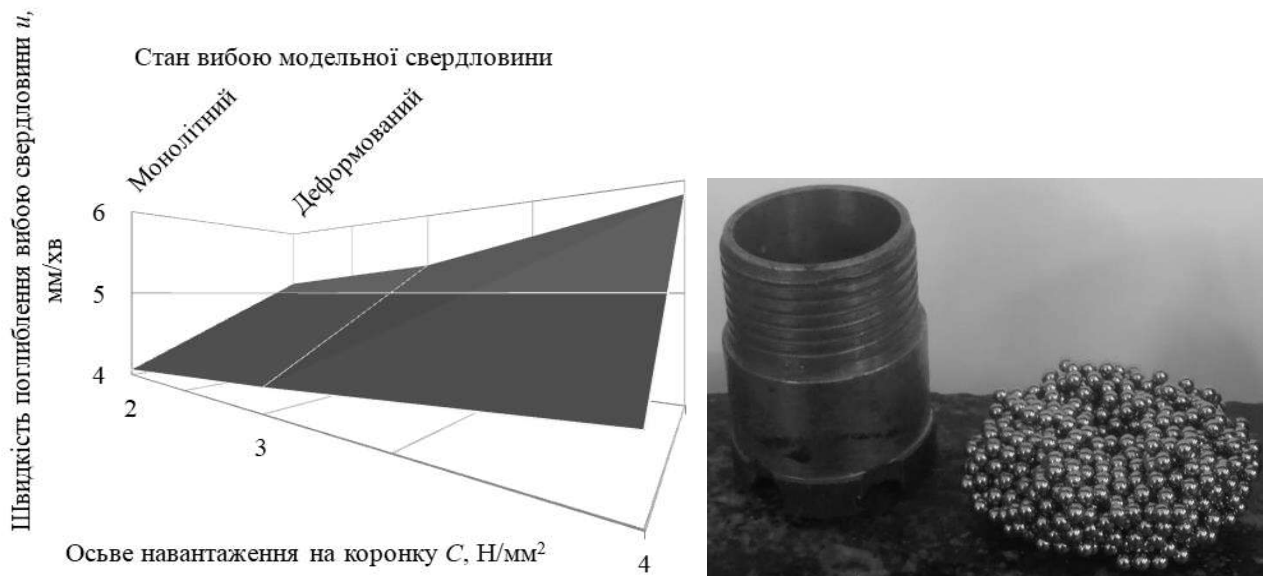


Рис. 1. Особливості зміни швидкості поглиблення свердловини u від вибійних умов руйнування гірських порід

Дані рис. 1 дають чітку уяву про перебіг деформаційних процесів, властивих, за обставин застосування гідромеханічних пристроїв, породам міцного комплексу, що відзначаються достатньо високим ступенем зв'язності окремих мінералогічних часток. Додатковим підтвердженням цьому є деяке, відносно суттєве, зниження механічної швидкості поглиблення. Щодо підкреслених раніше закономірностей взаємозв'язку між зростанням рівня режимних параметрів та інтенсифікацією руйнівних процесів – їхня спрямованість залишається незмінною.

Дані табл. 2 містять дещо більший за охоптом діапазон експериментальних даних відносно результатів взаємодії в системі «спеціалізована бурова коронка – руйнівні кулі – гірський масив» та складена за критерієм висвітлення масштабів варіювання механічної швидкості u .

Виявлений стійкий вплив на результати деформаційних процесів додаткових динамічних зусиль упевнено підтверджується даними табл. 2. Тим самим можна констатувати позитивність закладеного в структуру розглядуваного пристрою технічного рішення відносно включення гідро(пнеumo)ударників, які сприяють встановленню раціональних умов поглиблення вибою свердловини за рахунок генерування деякого частотно-силового поля, що, умовно кажучи, рівномірно наводиться на спеціалізованій буровій коронці, а сама схема технологічного поєднання окремих вузлів практично не зазнає помітних конструктивних перевантажень.

Таблиця 2. Дані щодо основних ознак взаємодії спеціалізованої бурової коронки гідромеханічного кулеструминного пристрою з породним масивом, представленим гранітом дрібнозернистим

Найменування досліджуваних порід	Стан вибою модельної свердловини	Наявність динамічної компоненти	Режимні параметри процесу руйнування гірських порід					
			Осьове навантаження на спеціалізовану бурову коронку C , Н/мм ²					
			2	3	4	2	3	4
			Частота обертання спеціалізованої бурової коронки n , хв ⁻¹					
			225			370		
Швидкість поглиблення вибою модельної свердловини u , мм/хв								
граніт дрібнозернистий	монолітний	відсутня	3,28	3,46	3,52	4,06	4,29	4,48
	деформований		4,22	4,46	4,65	5,48	5,82	6,04
	монолітний	присутня	4,06	4,22	4,42	4,64	4,98	5,22
	деформований		5,16	5,36	5,88	6,16	6,78	7,18

Звісно, основним фактором інтенсифікації руйнівних процесів, за пропонованої конструктивної схеми побудови заявлених пристроїв гідро(пневмо)механічного буріння, є їх здатність створювати в гірському масиві розвинену систему тріщин, яка суттєво знижує його міцність [18]. Загалом можна констатувати наступний стан речей відносно дезінтеграційних явищ на вибої свердловини: при взаємодії породоруйнівного інструменту з гірською породою в середовищі умовно інертного бурового розчину, поряд з відділенням окремих її часток від масиву, в останньому також утворюється зона, в якій розвивається макро- і мікротріщинуватість. До того ж мікротріщини після зняття навантаження швидко стуляються, і таким чином робота, витрачена на їх утворення, зовсім не використовується для руйнування гірських порід. Уникнути описаного явища можна і необхідно за допомогою введення до складу бурового розчину добавок спеціальних поверхнево-активних речовин (ПАР), головною характеристикою яких є здатність адсорбуватися (явище мимовільного збільшення концентрації розчиненої речовини) на поверхні розділу фаз внаслідок некомпенсованості сил міжмолекулярної взаємодії між ними.

При адсорбції ПАР на поверхнях деформаційних тріщин практично виключається їх здатність до змикання власних берегів та забезпечується збереження формату мікротріщин і після зняття руйнівного навантаження. Поверхнево-активне середовище впливає на характер деформації і руйнування твердих тіл головним чином в околицях гострих (тупикових) кінців тріщин, що розвиваються. У цих областях твердого тіла, яке деформується, адсорбційний вплив середовища призводить до зміни ефективної поверхневої енергії, що припадає на одиницю поверхні; це і обумовлює зміну параметрів міцності гірської породи. Природно, що найбільші адсорбційні ефекти мають місце тоді, коли нові поверхні, які виникають у процесі руйнування, встигають покриватися адсорбційними шарами, при сприятливих для адсорбції механічних умовах руйнування (це активне тріщиноутворення). Переконаливо доведено, що ефективність дії ПАР при ударно-обертальному бурінні та при бурінні шарошковими долотами (тобто із наявністю динамічної складової) вища, ніж при обертальному бурінні долотами [19].

Логічним висновком за описаних умов буде наступне твердження: додаткове значне підсилення ступеню розвитку руйнівних явищ в масиві гірської породи може бути сформоване в результаті цілеспрямованого введення до складу бурових розчинів відповідних ПАР; проте підґрунтям такого технологічного рішення повинні бути дослідження поведінки активованих

за допомогою ПАР бурових очисних розчинів при контактуванні із гірською породою та їх вплив на перебіг деформаційних процесів. Характеристичним показником за вказаних обставин може бути прийнята твердість породи за штампом, яка визначається втисканням у поверхню випробуваного тіла більш твердого стандартного індентора до отримання пластичного відбитка (метод Шрейнера). За такої методики були отримані експериментальні дані щодо результатів розвитку деформаційних явищ в окремих гірських породах, а саме пісковику і вапняку (табл. 3, 4).

Таблиця 3. Показники механічних властивостей для гірської породи – пісковику, визначені за обробки його зразків сульфолом

№ з/п	Робоче середовище	Механічні характеристики досліджуваної породи				
		твердість за штампом, $P_{ш} \cdot 10^{-7}$ Па	умовна межа текучості, $P_o \cdot 10^{-7}$ Па	коефіцієнт пластичності, $K_{пл}$	модуль Юнга, 10^{-9} , Па	загальна робота руйнування, $A_{заг}$, Дж
1	Повітря	76,9	45,67	3,36	5,44	1,26
2	Технічна вода	57,46	38,30	3,98	6,06	0,737
3	0,25% розчин сульфолу	61,75	40,15	3,34	6,2	0,722
4	0,5% розчин сульфолу	61,14	36,83	3,23	5,5	0,697
5	1% розчин сульфолу	60,04	41,25	3,02	5,84	0,693

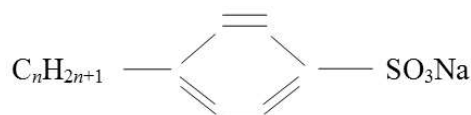
Таблиця 4. Основні механічні властивості для гірської породи – вапняку, визначені за обробки його зразків деякими ПАР

№ з/п	Робоче середовище	Механічні характеристики досліджуваної породи			
		твердість за штампом, $P_{ш} \cdot 10^{-7}$ Па	умовна межа текучості, $P_o \cdot 10^{-7}$ Па	коефіцієнт пластичності, $K_{пл}$	загальна робота руйнування, $A_{заг}$, Дж
1	Повітря	166	138	1,29	0,0167
2	Технічна вода	161	140	1,237	0,0167
3	2% розчин емульсолу	152	120	1,33	0,0137
4	0,1% розчин сульфолу	143	122	1,149	0,01

Для правильності трактовки висновків зазначимо, що пісковик є уламковою осадовою гірською породою, до якої приурочені родовища різних корисних копалин; вона, завдяки своїй

високій пористості та проникності, є колектором (пасткою) для газу і нафти. Проведення випробовувань зразків гірської породи відбувалось за навантаження на твердосплавний штамп в 5000 Н.

Також відмітимо, що вапняк – це осадова, уламкова гірська порода біогенного, рідше хемогенного походження, яка складається переважно з карбонату кальцію у вигляді кристалів різного розміру. Навантаження на твердосплавний штамп при випробовуваннях складала 5000 Н. Основна ПАР сульфонол виступає сумішшю натрієвих солей алкілбензолсульфокислот з алкільними залишками, що вміщують 12 - 18 атомів вуглецю, зі структурною формулою (n – число атомів вуглецю) [20]



Аналізуючи окремо та зіставляючи між собою дані табл. 3 і 4, нескладно побачити різноплановість прояву ефекту впливу на механічні властивості різних ПАР. Класифікаційними ознаками для вказаного можуть бути прийняті такі чинники: походження та відповідні фізико-хімічні властивості конкретної ПАР; гранична концентрація ПАР в буровому розчині; генез та структурно-механічні властивості гірської породи, зокрема пористість і пластичність; мінералогічний склад. Отже, наслідки впливу ПАР на стан властивостей гірського масиву не є однозначними, а потребують свого експериментального вивчення та відповідної теоретичної інтерпретації; головним показником тут може виступати дослідження такого фактору, як поверхневий натяг σ .

Рис. 2 ілюструє фізико-хімічну картину розчинення сульфонолу в технічній воді та його адсорбцію Γ з відповідного розчину на поверхні гірської породи – граніту.

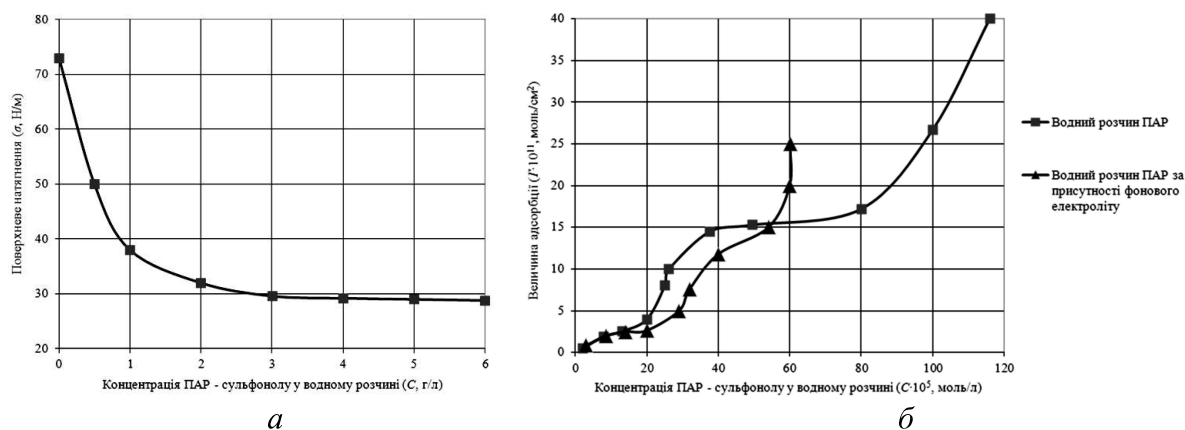


Рис. 2. Експериментально отримані ізотерми поверхневого натягу σ водного розчину (а) та адсорбції Γ сульфонола з водного розчину на поверхні граніту (б)

Інтенсивність зміни поверхневого натягу водного розчину сульфонолу простежуються на відповідному графіку (рис. 2, а); його характер беззаперечно свідчить про значну активність досліджуваної ПАР за відносно низьких концентрацій (до 3 г/л), причому перевищення зазначеного порогу не призводить до подальшого зниження σ , тобто отримане значення C є граничним [21]. Явища адсорбції для сульфонолу на поверхні гірської породи (рис. 1, б) мають доволі складні ознаки, обумовлені як варіативністю C , так і фізико-хімічними особливостями дисперсійного середовища – визначуваними, окрім іншого, активними компонентами дисперсної фази [22]. Ізотерма адсорбції сульфонолу може бути описана декількома відмітними ділянками: початкова з них – це майже пряма пропорційність (з коефіцієнтом пропорційності $k < 1$), яка відповідає електростатичній сорбції окремих іонів поверхнею

породи; далі відбувається трансформація вигляду ізотерми у параболічну криву із наступним тривалим виположуванням – щільне перекриття поверхні гірської породи іонами ПАР та стрімким (за степеневою функцією високого порядку) збільшенням G ; при цьому подальше збільшення сумарного значення C на факторі G практично не позначається. Щодо впливу електроліту CaCl_2 (так званого фонового електроліту) на розвиток адсорбційних процесів, то він проявляється у збереженні їх загальної спрямованості, проте за істотно менших абсолютних значень фактору G .

Отже, з упевненістю констатуємо наступне: пропонувані пристрої гідро(пневмо)механічного буріння, при умовах оптимального технологічного супроводження для них, можуть бути рекомендовані до широкого застосування у відповідних геолого-технічних умовах, де реалізація інших методів та прийомів (особливо чисто механічних) нераціональна або обмежена малими техніко-економічними показниками.

Висновки

1. Вивчено особливості аспектів техніко-технологічної реалізації сучасних механічних способів буріння, а також розглянуто напрямки конструкторських робіт в області практичного застосування елементів фізичних способів руйнування гірського масиву при спорудженні свердловин.

2. Встановлено наявність взаємозв'язку між таким технологічним параметром як осьове навантаження та чинником наявності для нього динамічної складової із різними амплітудою та частотою, що, в комплексі, здатні забезпечити значний ступінь інтенсифікації руйнівних процесів на вибої споруджуваної свердловини.

3. На основі проведених різнопланових досліджень доведено, що деякі технологічні властивості бурового розчину, зокрема поверхневий натяг, мають суттєвий вплив на ефект посилення протікання вибійних руйнівних процесів; також експериментальними дослідженнями фактору поверхневих взаємодій, а саме адсорбції на межі розділу фаз, показана її провідна роль у встановленні сталого режиму руйнування гірського масиву.

4. Наступні аналітичні й експериментальні дослідження основних чинників реалізації принципів гідро(пневмо)механічного буріння та робочих характеристик відповідних пристроїв необхідно продовжувати у напрямках розробки раціональних параметрів їх режимно-технологічного супроводження з максимальною адаптацією до конкретних обмежувальних гірничо-геологічних й економічних умов.

A.O. Ihnatov

National technical university «Dnipro Polytechnic», Ukraine

STUDY OF TECHNOLOGICAL FEATURES OF THE IMPLEMENTATION OF THE HYDROMECHANICAL DRILLING METHOD

Modern directions of research and design work in the field of widespread introduction of elements of physical methods of rock mass destruction into drilling business are considered. Regarding the specifics of the structural and technical implementation of individual units of the devices under consideration, the main technological factors of their rational functioning in various well conditions are reflected. Detailed studies have convincingly proved the existence of a close relationship between the factor of the presence of a dynamic component for the axial load on the rock cutting tool and the possible intensification of destruction processes. Specific examples show the leading role of individual properties of the drilling fluid in the implementation of the conditions for enhancing the efficiency of the destruction processes. It has been convincingly proven that since the main factor in hydro(pneumo)mechanical drilling is a significant degree of development of destruction processes, their intensification can be achieved due to the directed physical and chemical action of the surface-active medium. Experimental studies have been carried out to study the development and results

of surface interactions – adsorption at the phase boundary as the main factor in the sustainable destruction of the rock mass.

The study of specifics of the functioning of hydro (pneumatic) mechanical drilling devices was based on the use of complex analytical and laboratory methods. The study of the processes of destruction of rocks of various hardness was carried out using modern methods of analytical analysis and experimental research, in particular, the methods of mathematical and physical modeling, methods for processing research results in software support SolidWorks, STATGRAPHICS, MATHCAD, instrumentation and materials corresponding to the original task.

The presented results of laboratory and experimental studies (in relation to the mechanism of disintegration and surface physical and mechanical processes) are basic for designing the regime parameters of the program for the destruction and flushing of hydromechanical drilling wells; in addition, they refer to the main initial data used in substantiating the design and technical-technological characteristics of the corresponding upgraded devices. The obtained results of the research serve as the basis for the reasonable design of the regime parameters of the well deepening through the use of hydro (pneumatic) mechanical devices and can serve as starting points for the development of optimal design and technological parameters of the devices under consideration.

Key words: *hydro (pneumatic) mechanical drilling, rock, bottomhole, well, cleaning agent, rock-breaking balls, mechanical speed of the recess, surfactant, adsorption, disintegration.*

Література

1. Hossain M.E., Islam M.R. Drilling engineering: problems and solutions. – Wiley – Scrivener Publishing, 2018. – 627 p.
2. Войтенко В., Вітрик В. Технологія і техніка буріння. – Київ: Центр Європи, 2012. – 708 с.
3. Azar J.J., Robello S.G. (2007). Drilling Engineering. – PennWell Corporation, 2007 – 486 p.
4. 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.
5. Jimeno C.L., Jimeno E.L., Carcedo F.J.A. Drilling and Blasting of Rocks. – CRC Press, 1995. – 408 p.
6. Hossain, M.E. Fundamentals of Drilling Engineering: MCQs and Workout Examples for Beginners and Engineers. – Wiley – Scrivener Publishing, 2016. – 854 p.
7. Ігнатів А.О. Встановлення базових принципів функціонування окремих вузлів пристроїв гідро(пневмо)механічного буріння // Інструментальне матеріалознавство. Зб. наук. пр. – Вип. 24. – Київ: ІНМ ім. В.Н. Бакуля НАН України, 2021. – С. 76–87.
8. Dareing D.W. Oilwell Drilling Engineering. – ASME Press, 2019. – 512 p.
9. Ihnatov A. Analyzing mechanics of rock breaking under conditions of hydromechanical drilling. Mining of Mineral Deposits. – 2021. – Vol. 15, N 3. –P. 122–129.
10. Ihnatov A.O., Koroviaka Ye.A., Pinka J., Dmytruk O. Geological and mining-engineering peculiarities of implementation of hydromechanical drilling principles // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2021. – N 1, P. 11–18.
11. Curry G.L., Feldman R.M. Manufacturing systems. Modeling and analysis. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. – 338 p.
12. Reconfigurable Manufacturing Systems: From Design to Implementation / Benyoucef L. (Eds.) // Springer Series in Advanced Manufacturing (SSAM). – Springer Cham, 2020. – 250 p.
13. Zhang, Z. X.. Rock fracture and blasting. Theory and applications. – Butterworth-Heinemann, 2016. – 528 p.

14. 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.
15. Ігнатів А.О., Ратов Б.Т., Ткаченко Я.С., Шипунов С.О., Ветошка С.І. Розробка методичних та конструктивних основ буріння свердловин із застосуванням нових типів доліт./ Зб. наук. праць НГУ. – Випуск 69. – Дніпро: Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка», 2022. – С. 218 – 230.
16. Пат. 109273 Україна МПК Е21В 7/18. Пристрій для буріння / А.О. Ігнатів. – Опубл. 10.08. 15, Бюл. № 15.
17. Modi P.N., Seth S.M. *Hydraulics and Fluid Mechanics Including Hydraulics Machines.* – Standard Book House, 2019. – 1419 p.
18. 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.
19. Коровяка Є.А., Ігнатів А.О. Прогресивні технології спорудження свердловин. – Дніпро: НТУ «ДП», 2020. – 166 с.
20. Sharma K.K., Sharma L.K. (2016). *A Textbook of Physical Chemistry.* Vikas Publishing House, 2016. – 863 p.
21. Yasmin A., Yasin S.M. *Advanced Practical Physical Chemistry.* Publisher: Noor Publisher, 2020. – 100 p.
22. *Physical Chemistry and Its Interdisciplinary Applications* / A.K. Haghi (Ed.). – Nova Science Publishers, 2021.

Надійшла 13.09.22

References

1. Hossain, M.E., & Islam, M.R. (2018). *Drilling engineering: problems and solutions.* Wiley – Scrivener Publishing.
2. Voitenko, V., & Vitryk, V. (2012). *Tekhnolohiia i tekhnika burinnia [Technology and technique of the drilling].* Kyiv: Tsentr Yevropy [in Ukrainian].
3. Azar, J.J., & Robello, S.G. (2007). *Drilling Engineering.* PennWell Corporation.
4. Ihnatov, A., Koroviaka, Ye., Rastsvietaiev, V., et al. (2021). Development of the rational bottomhole assemblies of the directed well drilling. Proceedings from Gas Hydrate Technologies: Global Trends, Challenges and Horizons'20: *IV International Scientific and Technical Conference (GHT 2020)* (vol. 230, p. 01016). E3S Web of Conferences.
5. Jimeno, C.L., Jimeno, E.L., Carcedo, F.J.A. (1995). *Drilling and blasting of rocks.* CRC Press.
6. Hossain, M.E. (2016). *Fundamentals of drilling engineering.* Wiley – Scrivener Publishing.
7. Ihnatov, A.O. (2021). Vstanovlennia bazovykh pryntsyypiv funktsionuvannia okremykh vuzliv prystroiv hidro(pnevmo)mekhanichnoho burinnia [Establishment of the basic principles of functioning of individual units of devices for hydro(pneumatic)mechanical drilling]. *Instrumentalne materialoznavstvo – Tooling materials science*, 24, 76–87 [in Ukrainian].
8. Dareing, D.W. (2019). *Oilwell Drilling Engineering.* ASME Press.
9. Ihnatov, A. (2021). Analyzing mechanics of rock breaking under conditions of hydromechanical drilling. *Mining of Mineral Deposits*, 15(3), 122–129.
10. Ihnatov, A.O., Koroviaka, Ye.A., Pinka, J., & Dmytruk, O. (2021). Geological and mining-engineering peculiarities of implementation of hydromechanical drilling principles. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu – Scientific Bulletin of the National Mining University*, 1, 11–18.
11. Curry, G.L. & Feldman, R.M. (2011). *Manufacturing systems. Modeling and analysis.* Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

12. Benyoucef, L. (Eds.). (2020). Reconfigurable Manufacturing Systems: From Design to Implementation. *Springer Series in Advanced Manufacturing*. Springer Cham.
13. Zhang, Z. X. (2016). *Rock fracture and blasting. Theory and applications*. Butterworth-Heinemann.
14. Pavlychenko, A.V., Koroviaka, Ye.A., Ihnatov, A.O. & Davydenko, A.N. (2021). *Hidrohadodynamichni protsesy pry sporudzhenni ta ekspluatatsii sverdlovyh: monograph [Hydro-gas-dynamic processes during the construction and operation of wells]*. Dnipro: Dnipro University of Technology [in Ukrainian].
15. Ihnatov, A., Ratov, B., Tkachenko, Ya., et al. (2022). Rozrobka metodychnykh ta konstruktyvnykh osnov burinnia sverdlovyh iz zastosuvanniam novykh typiv dolit [Development of methodological and constructive foundations for drilling wells using new types of bits]. *Collection of research papers of the NMU*, 2(69), 218–230 [in Ukrainian].
16. Ihnatov, A.O. (2015). Patent of Ukraine 109273 [in Ukrainian].
17. Modi, P.N., & Seth, S.M. (2019). *Hydraulics and Fluid Mechanics Including Hydraulics Machines*. Standard Book House.
18. 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 – Scientific Bulletin of the National Mining University*, 1, 20–27.
19. Koroviaka, Ye.A. & Ihnatov, A.O. (2020). *Prohresyvni tekhnolohii sporudzhennia sverdlovyh: monograph [Advanced well construction technologies]*. Dnipro: Dnipro University of Technology [in Ukrainian].
20. Sharma, K.K., & Sharma L.K. (2016). *A Textbook of Physical Chemistry*. Vikas Publishing House.
21. Yasmin, A., & Yasin, S.M. (2020). *Advanced Practical Physical Chemistry*. Noor Publisher.
22. Hagi, A.K (Eds.). (2021). *Physical Chemistry and Its Interdisciplinary Applications*. Nova Science Publishers.

УДК 622.648: 621.643.412

DOI: 10.33839/2708-731X-25-1-65-74

Л.Н. Ширін, д-р. техн. наук; **Р.Р. Єгорченко**, асп.

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,
пр. Д. Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, e-mail: yehorchenko.r.r@ntu.one*

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕНОВАЦІЇ ШАХТНИХ ДЕГАЗАЦІЙНИХ ГАЗОПРОВОДІВ

Діючі дегазацийні газопроводи, укладені в дільничних пластових виробках, постійно змінюють своє просторове положення, що призводить до порушень герметичності системи та руйнування стикових з'єднань труб. Геомеханічні процеси, що відбуваються в масиві гірських порід, та активне здимання порід ґрунту виробки провокують втотно-корозійне руйнування елементів дегазацийних газопроводів.

У статті розглядаються існуючі методи технічного обслуговування та реновації дегазацийних газопроводів для розробки інноваційних технічних рішень щодо підвищення експлуатаційних показників шахтних дегазацийних систем.

Основні напрямки проведення досліджень полягають в аналізі існуючих методів обслуговування та ремонту дегазацийних газопроводів з метою розробки оперативних методів оцінки їх технічного стану та розробки інноваційних технічних рішень для підвищення надійності в реальних умовах шахтного середовища.