

5. Maistrenko, A. L., Oliinyk, N. O., Pnitska, G. D., et al. (2019). Kharakterystyky poroshku almazu, yakyi zastosovuyut v KAM dlya ruinovannya girskoi porody ta shlamu ruinovannya. [Characteristics of diamond powder used in KAM for rock destruction and sludge destruction Electronic resource]. Zb. nauk. prats: *Mezhdunarodnaia nauchnaya konferentsiya (18–19 grudnya 2019)* – (pp. 25–28). Kyiv: NTUU «KPI im. Igorya Sikorskogo». Retrived from <http://iff.kpi.ua/nauka/konferentsii>. [in Ukrainian].

УДК 622.24

DOI: 10.33839/2708-731X-23-1-78-88

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

ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВИБІЙНИХ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИБОРІВ ГІДРОМЕХАНІЧНОГО БУРІННЯ

Вивчено й обґрунтовано конструктивні рішення в окремих вузлах модернізованих гідромеханічних пристроїв та визначення раціональних технологічних програм роботи останніх у конкретних геолого-технічних умовах споруджування свердловин шляхом розроблення та впровадження прогресивних рішень.

Дослідження особливостей роботи модернізованих пристроїв гідромеханічного буріння на прикладі руйнування гірських порід значної твердості виконано із застосуванням сучасних методів аналітичного аналізу та експериментальних досліджень, зокрема, шляхом використання методів математичного і фізичного моделювання, методик моделювання та обробки результатів досліджень у середовищі SolidWorks, STATGRAPHICS, MATHCAD, контрольно-вимірювальних приладів і матеріалів.

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

Визначено основні шляхи вдосконалення свердловинних гідромеханічних технологій. Сформульовано засадничі положення процесу проектування конструктивних схем пристроїв, що реалізують такі способи руйнування, які комбінують у собі найбільш продуктивні й ефективні методи дії на порідний масив. Встановлено низку впливових факторів, характерних для реалізації свердловинних гідромеханічних технологій, зокрема: геометричні розміри і форма руйнівних куль та фізичний стан їхньої поверхні; конструктивне виконання механічних породоруйнівних органів пристроїв; кількість куль, що одночасно приймає участь у формуванні різних частин вибою свердловини. Доведено, що розроблені конструктивні схеми пристроїв гідромеханічного буріння, за оптимального технічного виконання та технологічного відпрацювання, можуть бути рекомендовані до застосування у відповідних геолого-технічних умовах, де реалізація інших методів нераціональна або обмежена.

Формування периферійної частини вибою є підлеглим чинником, визначуваним самим виконанням пристроїв; ефективне профілеутворення свердловини можливе тільки за рахунок введення до складу пристроїв гідромеханічного буріння додаткових вузлів, що дозволяють застосування певних технологічних методів і прийомів.

Отримані результати лабораторних і аналітичних досліджень є базовими для проектування режимних параметрів процесу поглиблення свердловини за рахунок використання гідромеханічних пристроїв. Дані з вивчення вибійних робочих процесів гідромеханічних технологій є вихідними положеннями для обґрунтування конструктивних і технологічних параметрів модернізованих кулеструминних пристроїв.

Ключові слова: *гідромеханічне буріння, свердловина, промивальна рідина, гірська порода, куля, механічна швидкість поглиблення, породоруйнівне кільце, вибій.*

Постановка проблеми

Сучасний етап розвитку будь-якої галузі промисловості характеризується широким використанням новітніх методів та прийомів, розробка яких не була б можливою без ґрунтового узагальнення попереднього досвіду та глибокого науково-практичного вивчення тих або інших супроводжуваних технологічних процесів, які прямо або опосередковано визначають спрямованість, хід та результати виробничого циклу. Не викликає жодного сумніву, що тільки на підставі таких усебічних та максимально взаємопов'язаних підходів можна якнайефективніше й досить швидко вирішувати складні комплексні питання підвищення продуктивності праці, поліпшення якості виконання робіт і скорочення їхньої вартості та часу виконання.

Спираючись на окреслений підхід та розповсюджуючи його на, беззаперечно, одну з провідних галузей вітчизняної промисловості – видобувну, можна з упевненістю говорити, що вона потребує пошуку резервів скорочення витрат і часу на виконання широкої гами її притаманних основних та допоміжних операцій [1]. Пошук, розвідка та розробка родовищ неможливі без спорудження свердловин, які є найнадійнішим джерелом інформації про наявність у надрах корисних копалин; вони дозволяють проводити різного плану геологічні й геохімічні дослідження структур та в більшості випадків є єдиним можливим каналом зв'язку між продуктивними горизонтами й денною поверхнею [2]. Навіть найбільш поверхневий аналіз сучасного стану розвитку видобувної галузі свідчить про безперервне зростання глибин досліджуваних і експлуатованих об'єктів, що кардинальними чином впливає на вартість виконання бурових робіт та призводить до надзвичайного зростання їхньої капіталомісткості. З цієї причини пошук шляхів раціоналізації та оптимізації затрат на реалізацію свердловинних технологій – найважливіша проблема, актуальність якої є беззаперечною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У якості можливого варіанту вирішення завдання щодо оптимізації технології виконання бурових робіт можуть бути запропоновані шляхи підвищення продуктивності, поза сумнівом, найголовнішої операції процесу спорудження свердловини – руйнування масиву порід [3].

Розуміння процесу руйнування гірських порід при бурінні, без якого не можна вести мову про його вдосконалення, неможливе без глибинного вивчення визначальних чинників, яких існує досить велика кількість.

У цілому характер протікання руйнівних процесів буде визначатися способом прикладення зовнішніх сил, покликаних подолати сили внутрішніх зв'язків у гірській породі та в кінцевому підсумку призвести до її руйнування [4]. Більшість застосовуваних нині способів буріння базується на механічному впливі спеціальних інструментів, що порівняно повільно занурюються в гірський масив. Разом із тим, теорія і практика конструкційних матеріалів, а також фізика гірських порід усе більше звертають увагу на існування тісного зв'язку між результатами деформаційних процесів та швидкостями прикладення навантажень. Зміна інтенсивності дії навантажень, як показали дослідження, неоднозначно впливає на стан гірського масиву: у деяких випадках вона спричиняє уповільнення, а в інших – прискорення розвитку деформаційних та руйнівних процесів. Саме цими обставинами обумовлена поява цілого ряду нових способів руйнування порід, заснованих на інтенсифікації впливу різних фізичних полів та їхньої комбінованої дії [5].

Цілком очевидно, що підвищення продуктивності бурових робіт може бути досягнуте і шляхом вдосконалення інших чинників, що супроводжують процеси руйнування порід при використанні тих або інших способів.

Не викликає сумніву, що в раціонально організованих процесах дії на вибір свердловини швидкості прикладення навантажень мають бути пов'язані з властивостями гірського масиву. Як малі, так і великі за абсолютними значеннями зовнішні навантаження

можуть бути хибними. У першому випадку вони можуть бути недостатніми для подолання опору масиву руйнуванню, у другому – виявитися більше допустимих для вибійних технічних засобів. Для того щоби правильно підбирати характеристики навантажень, необхідно врахувати всю гамму чинників, що беруть участь у процесах руйнування в комплексній дії.

Наявність тісного зв'язку між усіма зазначеними вище обставинами, що визначають ефективність процесів руйнування порід, робить неможливим подальше удосконалення процесів буріння без досить повного й послідовного вивчення всіх явищ, які відбуваються на вибої свердловини.

Тільки теоретично-лабораторні методи вивчення процесів руйнування гірських порід дозволять знайти та впровадити найбільш ефективні форми фізичних та комбінованих способів формування вибою свердловин.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Позаяк базовим пунктом удосконалення техніки й технології буріння було обрано процеси руйнування гірських порід, роботи спеціалістів кафедри нафтогазової інженерії та буріння (НГІБ) Національного технічного університету (НТУ) «Дніпровська політехніка» були спрямовані на пошук конструктивних схем пристроїв, що реалізують такі способи руйнування, які комплексують або комбінують у собі найбільш продуктивні й ефективні методи дії на порідний масив. У результаті широкого аналізу й узагальнення наукового і практичного матеріалів був створений ряд кардинально нових моделей снарядів гідромеханічного буріння, які можна також назвати пристроями комбінованої дії [6]. Вони комплексують у собі достатньо ефективний – дослідження показали наявність цілком визначеного для нього комплексу порід – метод руйнування гірського масиву ударами куль, які отримують імпульси від вибійного струминного апарату – органічного вузлу пристрою кулеструминного буріння [7] та метод обробки периферійної зони вибою свердловини. Криволінійна форма останньої, що неодмінно виникає за класичної схеми виконання кулеструминних пристроїв, уповільнює або зовсім унеможлиблює процес поглиблення свердловини. Виключити цей значний недолік покликані запропоновані спеціальні механічні породоруйнівні органи, робочими елементами яких виступають також кулі або продукти їхнього руйнування. Проведені на кафедрі НГІБ НТУ «Дніпровська політехніка» дослідження процесу роботи модернізованих пристроїв гідромеханічного буріння [5] виявили для них значну гамму впливових чинників, серед яких найбільш вагомими та підданими в даній статті вивченню є: геометричні розміри й форма руйнівних куль та фізичний стан їхньої поверхні (штучно або природно змінений); конструктивне виконання механічних породоруйнівних органів пристроїв; кількість куль, що одночасно приймає участь у формуванні різних частин вибою свердловини тощо.

Слід зазначити також, що дослідження підтвердили конкурентоспроможність розроблених пристроїв гідромеханічного (модернізованого кулеструминного) буріння, у відповідних геолого-технічних умовах; їх застосування буде сприяти підвищенню продуктивності бурових робіт, скороченню часу на допоміжні операції, загальному зростанню ефективності й економічності процесу спорудження свердловин.

Мета статті – розгляд і обґрунтування конструктивних рішень в окремих вузлах модернізованих гідромеханічних пристроїв та визначення раціональних технологічних програм роботи останніх у конкретних геолого-технічних умовах споруджування свердловин шляхом розроблення та впровадження прогресивних рішень.

Обґрунтування вживання й опис обраної автором методики

Дослідження особливостей роботи модернізованих пристроїв гідромеханічного буріння на прикладі руйнування гірських порід значної твердості 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-вимірвальних приладів і матеріалів.

Процес розв’язання задач оптимального планування експерименту поділявся на чотири етапи: складання моделі, що планувалась; підготовка необхідних вихідних даних; розрахунок моделі; отримання результатів.

Протікання свердловинних породоруйнівних процесів моделювали на спеціальному лабораторному стенді, обладнаного контрольно-вимірвальним блоком (витратомір, манометр, тахометр, координатник).

Виклад основного матеріалу дослідження

У цілому, сучасний стан розвитку техніки й технології буріння можна охарактеризувати застосуванням двох груп методів формування стовбуру свердловин у гірському масиві, що принципово відрізняються [8]. До першої групи можна віднести ті методи, при яких руйнування породи здійснюється інструментом, якому передаються за різними схемами удари, обертання (різних амплітуд і частот) або їхня комбінація. Другу групу складають методи, при яких руйнування відбувається за рахунок різних фізико-хімічних ефектів. Відмітною особливістю модернізованого гідромеханічного (кулеструминного) способу буріння [9], що дозволяє характеризувати його як метод із ознаками техніко-технологічних прийомів обох вище названих груп, є наявність у пристроях механічних, але у вищому ступені вільних рухливих породоруйнівних куль. З огляду на сказане, новий спосіб можна класифікувати як фізичний безінструментальний у класичному розумінні цього терміну відносно техніки буріння.

Реалізовані в модернізованих пристроях різновиди механізмів формування вибою свердловини потребують принципово різних підходів до розгляду руйнівних процесів – можливих при наданні породоруйнівним кулям певних динамічних параметрів. Проведеними на кафедрі НГІБ НТУ «Дніпровська політехніка» дослідженнями було показано наступне [6]: руйнівні процеси, за особливостей схем пристроїв, можна розрізнити відповідно до значень швидкостей прикладення навантажень. Останні мають високі показники для тих куль, що працюють у центральній частині вибою свердловини та порівняно низькі – для куль, які формують периферію вибою. Зазначена обставина є надзвичайно важливою, оскільки саме вона повинна визначати технологічні режими роботи модернізованих пристроїв [10]. Водночас, раціоналізація показників процесу взаємодії в парі «породоруйнівна куля - гірський масив», згідно із попередньою оцінкою, носить комплексний характер і включає в себе не тільки швидкісні параметри куль, а й їхні геометричні та фізичні якості. Для уточнення висунутих положень були поставлені відповідні експерименти, результати яких представлено в табл. – 2 та відображено на рис. 1, 3–4.

Таблиця 1. Характеристики процесу руйнування гірських порід ударами куль змінного діаметру

Найменування досліджуваних порід	Швидкість прикладення навантаження v , м/с	Результати процесу руйнування			
		Глибина лунки руйнування, мм		Приблизний об’єм лунки руйнування V_p 10^3 , мм ³	
		Діаметр руйнівних куль d_k , мм			
		6	8	6	8
граніт	20	5,7	6,0	0,784	0,836
крупнозернистий	30	6,4	6,8	1,048	1,129
граніт	20	5,1	5,6	0,684	0,769
дрібнозернистий	30	5,5	5,9	0,893	0,968

Дані табл. 1 свідчать про існування тісного зв'язку між розмірами куль d_k , швидкістю їх руху (іншими словами – швидкістю прикладення навантаження) v та об'ємом зруйнованої породи V_p , який зі збільшенням перелічених параметрів стійко зростає. На якісному рівні також слід зазначити, що за всіх обставин лунки руйнування мають перевернуту конусоподібну форму, яка переконливо вказує на підлеглість самого механізму руйнування та його результатів розмірам куль.

Достатньо цікаві обставини з'ясувались при застосуванні в якості руйнівних куль металевого дробу округлої або близької до неї форми. Візуальне вивчення лунок руйнування порід таким дробом показало, що їхня форма відхиляється від конусоподібної, зазнаються також зміни й у значенні об'єму зруйнованої породи.

Наступним етапом досліджень стало з'ясування особливостей роботи механічних породоруйнівних органів модернізованих пристроїв, озброєних кулями. В якості варіаційного параметру було обрано фізичний стан поверхні куль. Для досліджень, результати яких наведено на рис. 1, застосовували металеві кулі: звичайні гладкі, кулі зі зробленими в них, у взаємно перпендикулярних площинах, неглибокими отворами, кулі із шорсткою поверхнею (насідками).

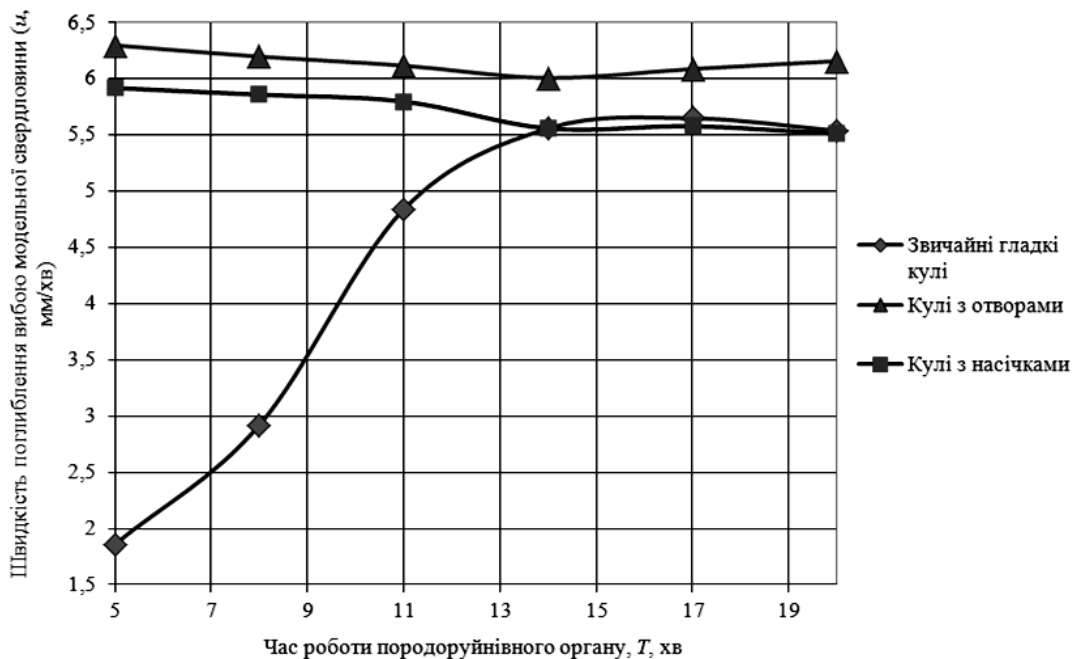


Рис. 1. Механіка роботи породоруйнівних куль на вибої модельної свердловини

З рис. 1 впливають характеристичні відмінності в механіці роботи породоруйнівних куль із різним фізичним станом поверхні. Кулі з отворами впродовж усього періоду роботи дають сталі та порівняно високі показники швидкості поглиблення вибою u модельної свердловини. Робота гладких куль умовно може бути розділена на два етапи, протягом першого з яких йде нарощування швидкості поглиблення u , а на другому – стабілізація її значення. Кулі з насідками також від початку працюють із високими швидкостями поглиблення u , які в часі поступово зменшуються та наближаються до таких, що властиві гладким кулям. Пояснити викладене можна провідною роллю шорсткості в процесах контактної взаємодії між кулями й гірським масивом. З досліджень витікає, що саме наявність рельєфних нерівностей забезпечує досягнення оптимальних показників циклу обробки периферійної частини вибою свердловини. Доказом цього положення є високі швидкості поглиблення u , що забезпечуються кулями з отворами – останні є своєрідними потужними об'єктами створення шорсткого контакту.

Візуальний огляд відпрацьованих гладких куль показує, що із часом їхня поверхня набуває вираженої шорсткості. Щодо куль із насічками, то їх штучна шорсткість повільно зменшується внаслідок абразивної дії продуктів руйнування гірського масиву, наближаючись до деякого критичного значення.

Дослідження проводилися для умов крупнозернистих гранітів, частота обертання породоруйнівного органу становила $n = 260 \text{ хв}^{-1}$, осьове навантаження складало $C = 3 \text{ Н/мм}^2$ торцевої площі породоруйнівного органу.

Руйнування гірського масиву периферійної частини вибою свердловини, за конструктивних схем модернізованих гідромеханічних пристроїв, можливе лише в умовах

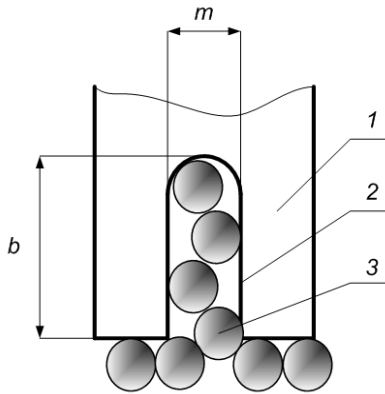


Рис. 2. Схема можливого розташування куль у породоруйнівному органі гідромеханічного пристрою: 1 – кільце; 2 – посадковий паз; 3 – кулі; m і b – ширина і висота посадкового пазу відповідно

надійного розміщення та утримання куль в спеціальному породоруйнівному органі, в даному випадку – кільці (рис. 2). Підтвердженням цього засадничого теоретичного положення стали експериментальні дослідження, що моделювали процес контактної взаємодії в парі «кільце - порода», які довели наявність стійкої залежності механізму руйнування гірського масиву периферійної зони вибою від конструктивних параметрів кільця (посадкових гнізд) та технологічних режимів його роботи.

На рис. 3 наведено експериментальні дані щодо вивчення характеру впливу значень висоти посадкового пазу b на механічну швидкість поглиблення вибою свердловини, за $m = 2d_k$.

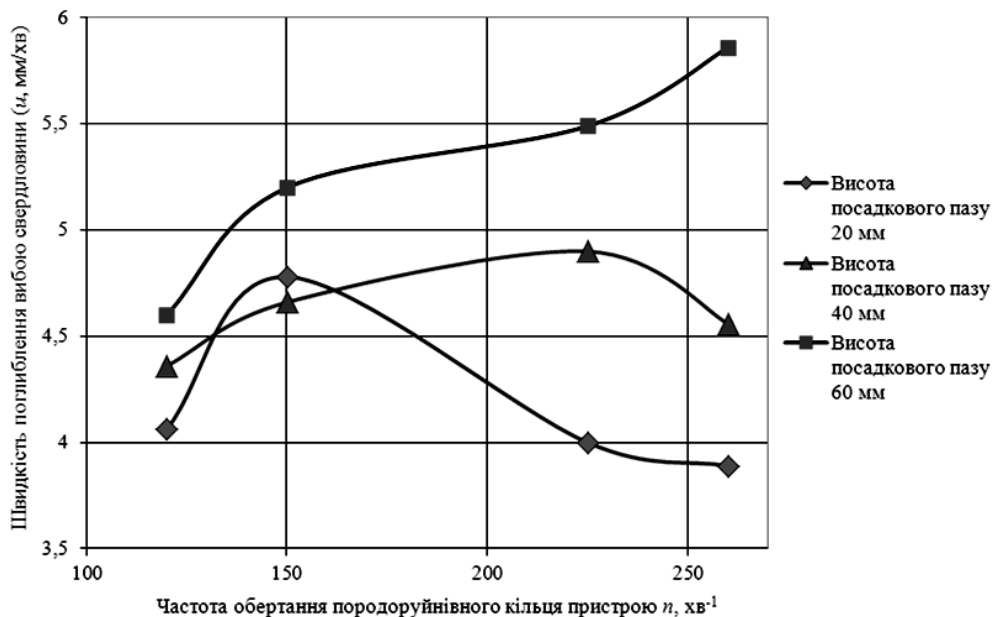


Рис. 3. Механіка роботи породоруйнівного кільця зі змінною висотою b посадкових пазів для куль

Показники процесу взаємодії породоруйнівного кільця із гірським масивом, представлені на рис. 3, свідчать про наявність для кожного варіанту конструктивного

виконання посадкового пазу з тим або іншим варіаційним значенням параметру b , раціонального діапазону, за якого значення швидкості поглиблення вибою свердловини u досягають свого максимуму для даного конкретного випадку.

Якісні дані стосовно контактної відпрацювання породоруйнівних куль за змінних характеристик кільця наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Якісні характеристики процесу контактної взаємодії куль із гірським масивом

№ з/п	Конструктивні особливості породоруйнівного кільця	Характеристика стану процесу відпрацювання куль
1	Кільце без посадкового пазу	Невелика частина куль розколотась на дрібні уламки, інша – практично не має ознак зношування
2	Кільце із посадковим пазом $b = 4d_k$, $m = 2d_k$	Кількість розколотих куль збільшилась (у порівнянні з попереднім варіантом), розмір уламків також збільшився, значна частина куль має ознаки зношування
3	Кільце із посадковим пазом $b = 8d_k$, $m = 2d_k$	Кількість розколотих куль дещо зменшилась (у порівнянні з попереднім варіантом), розмір уламків досить великий, зросла кількість куль, що має ознаки зношування
4	Кільце із посадковим пазом $b = 8d_k$, $m = 4d_k$	Розколотих куль практично немає, всі кулі мають ознаки зношування тієї або іншої інтенсивності

Зіставляючи між собою дані рис. 3 й табл. 2, нескладно побачити, що конструкція породоруйнівного кільця загалом і його посадкових пазів зокрема визначає характеристики руйнівних процесів периферійної зони вибою свердловини та результати контактної взаємодії в парі «куля – гірська порода». Завданням посадкових пазів, за раціонально організованої роботи породоруйнівного кільця, є не тільки утримання куль та передавання їм осьового навантаження S і крутного моменту M , а і спрямування куль під торець кільця, що забезпечує інтенсифікацію деформаційних і руйнівних процесів. Для досліджень використовували кулі з $d_k = 5$ мм, які працювали в породі ІХ категорії за буримістю.

Подальшими дослідженнями вдалося з'ясувати питання впливу ширини торцевої частини породоруйнівного кільця t на хід механізму формування вибою свердловини; їх результати наведено на рис. 4.

Дані рис. 4 свідчать про існування деякого, цілком певного, раціонального діапазону значень ширини торця породоруйнівного кільця, що дозволяє розміщення під останнім такої кількості куль, яка сприяє нормалізації процесу руйнування порід за рахунок передавання кожній кулі оптимального осьового навантаження S .

Непрямим доказом висунутого положення виступає тенденція зменшення зносу породоруйнівного кільця за висотою (рис. 4), що є свідченням зниження абразивності уламків куль за рахунок скорочення їх кількості, тобто розколювання куль унаслідок перенавантаження може бути практично виключено.

Отже, розроблені конструктивні схеми пристроїв гідромеханічного буріння, за оптимального технічного та технологічного наповнення, можуть бути рекомендовані до застосування у відповідних геолого-технічних умовах, де реалізація інших прогресивних методів нераціональна або обмежена.

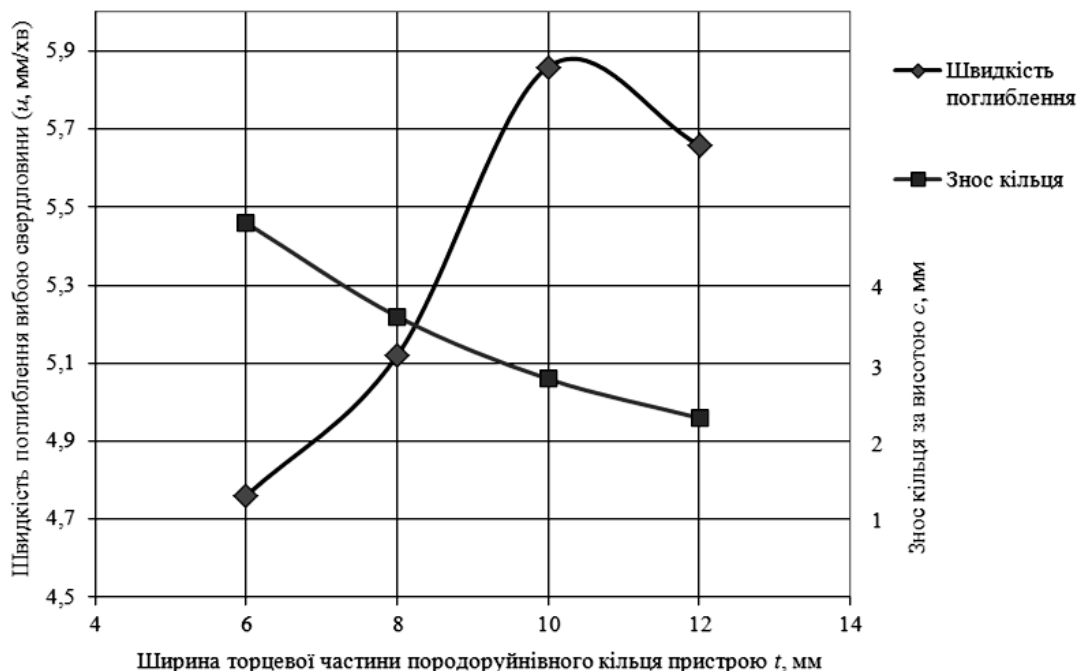


Рис. 4. Механіка роботи породоруйнівного кільця зі змінною шириною торцевої частини t

Висновки

За результатами вивчення літературних джерел, комплексного аналізу промислових та лабораторних даних визначено основні шляхи раціоналізації та оптимізації свердловинних гідромеханічних технологій.

Створено засадничі положення процесу пошуку конструктивних схем пристроїв, що реалізують такі способи руйнування, які комплексують або комбінують в собі найбільш продуктивні й ефективні методи дії на порідний масив.

Дослідження процесу роботи модернізованих пристроїв гідромеханічного буріння виявили для них значну гамму впливових чинників, серед яких найбільш вагомими є: геометричні розміри й форма руйнівних куль та фізичний стан їхньої поверхні (штучно або природно змінений); конструктивне виконання механічних породоруйнівних органів пристроїв; кількість куль, що одночасно приймає участь у формуванні різних частин вибою свердловини.

Експериментально-теоретичні дослідження особливостей реалізації принципів гідромеханічного буріння та робочих характеристик модернізованих кулеструминних пристроїв повинні продовжуватися у напрямках створення оптимальних техніко-технологічних рішень з максимальним урахуванням гірничо-геологічних й економічних умов споруджування конкретної групи свердловин.

А.О. Ihnatov

National Technical University «Dnipro Polytechnic»

TO THE QUESTION OF DETERMINING BOTTOM-HOLE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF HYDROMECHANICS DRILLING DEVICES

The constructive solutions in individual nodes of the modernized hydromechanical devices and the definition of rational technological programs for the operation of the latter in specific geological and technical conditions for well construction through the development and implementation of progressive solutions were studied and substantiated.

The research of features of the modernized hydromechanics drilling devices, using the example of destruction of rocks of considerable hardness, was done using the modern methods of analytical analysis and experimental research, specifically methods of mathematical and physical modeling, methods of modeling and processing of the research results in the environment SolidWorks, STATGRAPHICS, MATHCAD, control and measuring devices and materials.

Course of well rock destruction processes was modeled on the special laboratory stand, equipped by a control and measuring block (flowmeter, manometer, tachometer, traversing system).

The basic ways to improve bore hole hydromechanical technologies are determined. Fundamental conditions of planning of structural schemes of devices, which will actualize the destruction methods which combine in itself the most productive and effective methods of impact on a rock massif, are formulated. The number of significant factors, specific to actualization of bore hole hydromechanical technologies, is determined, in particular: geometrical sizes and form of destruction balls, as well as physical condition of their surface; structural execution of mechanical rock destruction organs of devices; amount of balls, which simultaneously take part in forming of different parts of coalface bore hole. It is proven that the designed structural schemes of hydromechanical drilling devices, in case of optimal technical manufacturing and technological working, can be recommended for usage in corresponding geology-and-technique terms in which realization of other methods is inefficient or limited.

Forming of peripheral part of coalface is an inferior factor, determined by manufacturing of devices; effective building bore holes possibly only to introduction in the complement of devices hydromechanical drilling additional individual assemblies which allow usage of certain technological methods.

The results of laboratory and analytical research are basic for planning of regime parameters of bore hole deepening using the hydromechanical devices. Data on the study of coalface working processes of hydromechanical technologies can be basis for justification of structural and technological parameters of the modernized impact drilling devices.

Key words: *hydromechanics drilling, bore hole, mud liquid, rock, ball, mechanical speed of deepening, rock destruction ring, coalface.*

А. О. Игнатов

Национальный технический университет «Днепро́вская политехника»

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАБОЙНЫХ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТРОЙСТВ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО БУРЕНИЯ

Изучены и обоснованы конструктивные решения в отдельных узлах модернизируемых гидромеханических устройств и определение рациональных технологических программ работы последних в конкретных геолого-технических условиях сооружения скважин путем разработки и внедрения прогрессивных решений.

Исследование особенностей работы модернизируемых устройств гидромеханического бурения на примере разрушения горных пород значительной твердости выполнено с применением современных методов аналитического анализа и экспериментальных исследований, в частности путем использования методов математического и физического моделирования, методик моделирования и обработки результатов исследований в среде SolidWorks, STATGRAPHICS, MATHCAD, контрольно-измерительных приборов и материалов.

Ход скважинных породоразрушающих процессов моделировался на специальном лабораторном стенде, оборудованном контрольно-измерительным блоком (расходомер, манометр, тахометр, координатник).

Определены основные пути совершенствования скважинных гидромеханических технологий. Сформулированы основополагающие положения процесса проектирования конструктивных схем устройств, которые реализуют такие способы разрушения, которые комбинируют в себе наиболее производительные и эффективные методы действия на породный массив. Установлен ряд весомых факторов, характерных для реализации скважинных гидромеханических технологий, в частности: геометрические размеры и форма разрушающих шаров, а также физическое состояние их

поверхности; конструктивное исполнение механических породоразрушающих органов устройств; количество шаров, которое одновременно принимает участие в формировании разных частей забоя скважины. Доказано, что разработанные конструктивные схемы устройств гидромеханического бурения, при оптимальном техническом исполнении и технологической отработке, могут быть рекомендованы к применению в соответствующих геолого-технических условиях, в которых реализация других методов нерациональна или ограничена.

Формирование периферийной части забоя является подчиненным фактором, определяемым самим исполнением устройств; эффективное профилообразование скважины возможно только за счет введения в состав устройств гидромеханического бурения дополнительных узлов, которые позволяют применение определенных технологических методов и приемов.

Полученные результаты лабораторных и аналитических исследований являются базовыми для проектирования режимных параметров процесса углубки скважины за счет использования гидромеханических устройств. Данные по изучению забойных рабочих процессов гидромеханических технологий являются исходными положениями для обоснования конструктивных и технологических параметров модернизируемых шароструйных устройств.

Ключевые слова: гидромеханическое бурение, скважина, промывочная жидкость, горная порода, шар, механическая скорость углубки, породоразрушающее кольцо, забой.

Література

1. Яремійчук Р.С., Возний В.Р. Основи гірничого виробництва. – К.: Українська книга, 2001. – 360 с.
2. Довідник з нафтогазової справи / За ред. В.С. Бойка, Р.М. Кондрата, Р.С. Яремійчука. – К.: Львів, 1996. – 620 с.
3. Войтенко В., Вітрик В. Технологія і техніка буріння. – К.: Центр Європи, 2012. – 708 с.
4. Вадецкий Ю.В. Бурение нефтяных и газовых скважин. – М.: Академия, 2011. – 352 с.
5. Давиденко А.Н., Игнатов А.А. Абразивно-механическое ударное бурение скважин. – Д.: Держ. вищ. навч. закл. «Нац. гірн. ун-т», 2013. – 110 с.
6. Давиденко А.Н., Ратов Б.Т., Пашенко А.А. Влияние гидростатического давления на ударное абразивно-механическое бурение скважин. – Алматы: Каспийский общественный университет, 2018. – 171 с.
7. Gatlin. C. (1960). Petroleum Engineering: Drilling and Well Completions. Prentice-Hall, INC, Englewood Cliffs, N.J.
8. Бойко В.С. Розробка та експлуатація нафтових родовищ. – К.: Реал-Принт, 2004. – 695 с.
9. Уваков А.Б. Шароструйное бурение. – М.: Недра, 1969. – 207 с.
10. Пат. 102708 Україна МПК E21B 7/18. Кулеструминний пристрій для буріння свердловин / А.О. Ігнатов, С.С. Вяткін. – Заявл. 14.06.2011; Опубл. 12.08.2013, Бюл. № 15.

Надійшла 09.07.20

References

1. Yaremiichuk, R.S., & Voznyi, V.R. (2001). *Osnovy hirnychoho vyrobnytstva [Bases of mining production]*. – Kyiv: Ukrainska knyha [in Ukrainian].
2. Boiko, V.S., Kondrat, R.M., & Yaremiichuk, R.S. (Eds.). (2006). *Dovidnyk z naftohazovoi spravy [A reference book from oil-and-gas business]*. – Kyiv: Lviv [in Ukrainian].
3. Voitenko, V., & Vitryk, V. (2012). *Tekhnolohiia i tekhnika burinnia [Technology and technique of the drilling]*. – Kyiv: Tsentri Yevropy [in Ukrainian].
4. Vadetskiy, Yu.V. (2011). *Burenie neftyanyih i gazovyih skvazhin [Oil and gas well drilling]*. – Moscow: Akademiya [in Russian].
5. Davidenko, A.N., & Inatov, A.A. (2013). *Abrazivno-mehanicheskoe udarnoe burenie skvazhin [Abrasive mechanical percussion well drilling]*. – DnIpropetrovsk: Derzh. visch. navch. zakl. «Nats. girn. un-t» [in Russian].

6. Davydenko, A.N., Ratov, B.T., Pashchenko, A.A. (2018). *Vliyanie gidrostaticheskogo davleniya na udarnoe abrazivno-mehaniicheskoe burenie skvazhin* [Influence of hydrostatical pressure on percussion abrasive mechanical well drilling]. – Almaty: Kaspiyskiy obschestvenniy universitet [in Russian].
7. Gatlin, C. (1960). *Petroleum Engineering: Drilling and Well Completions*. Prentice-Hall, INC, Englewood Cliffs, N.J 71.
8. Boiko, V.S. (2004). *Rozrobka ta ekspluatatsiia naftovykh rodovyshch* [Development and exploitation of the oil fields]. – Kyiv: Real-Prynt [in Ukrainian].
9. Uvakov, A.B. (1969). *Sharostruynoe burenie* [Pellet impact drill]. – Moscow: Nedra [in Russian].
10. Ihnatov, A.O., & Viatkin, S.S. (2013). Patent of Ukraine 102708.

УДК 622.245.4

DOI: 10.33839/2708-731X-23-1-88-103

А.О. Ігнатов¹, Є.М. Ставичний², кандидати технічних наук

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

ЛАБОРАТОРНІ ТА ПРОМИСЛОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЦЕМЕНТУВАННЯ НАФТОГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН В УМОВАХ ТОВЩ ОСАДОВИХ ПОРІД

Проведено аналітичні і промислово-лабораторні дослідження чинників підвищення надійності кріплення свердловин в умовах хомогенних відкладень на прикладі родовищ Дніпровсько-Донецької западини шляхом розробки сучасних стабілізованих буферних рідин і нових технічних рішень й технологій стосовно обробки застійних кавернозних зон свердловин.

Дослідження виконані із застосуванням, зокрема, методик моделювання і обробки результатів досліджень в середовищі SolidWorks, STATGRAPHICS, MATHCAD; методів математичного планування експерименту – ортогонального центрально-композиційного планування; фізичного моделювання свердловинних циркуляційних процесів на лабораторному стенді, обладнаному контрольно-вимірювальним блоком; методик лабораторних способів контролю (згідно ДСТУ Б В. 2.7 - 86 - 99), відповідно до яких вивчалися технологічні властивості цементних розчинів і каменю.

Вивчені обмежувальні вимоги, що пред'являються до процесу кріплення свердловин у складних гірничо-геологічних умовах хомогенних відкладень нафтогазових родовищ Дніпровсько-Донецької западини. Дослідженнями технологічних показників фазового складу тампонажних систем доведена наявність обумовленості результатів кріплення підготовчими заходами, що проводяться в стовбурі свердловини. Доведено, що якісне цементування свердловин може бути забезпечено тільки належним відокремленням технологічних рідин, повним витісненням бурової промивальної рідини з кільцевого простору, винесенням шламу із застійних зон, а також застереженням виникнення повторного шламонакопичення в раніше очищених кавернозних інтервалах; перерахованим багатofакторним умовам відповідають структуровані буферні рідини. З дотриманням вимог принципу "тандему технологій", а саме: забезпечення максимальної сумісності з типовими промивальними рідинами й тампонажними матеріалами, розроблена стабілізована структурована буферна суміш, найбільш повно адаптована до гірничо-геологічних і техніко-технологічних умов споруджування свердловин у хомогенних відкладеннях Дніпровсько-Донецької западини. Потребам забезпечення якісного цементування обсадної колони в умовах хомогенних відкладень сповна відповідають певні технологічні параметри буферних сумішей і гідродинамічно обгрунтовані заходи процесу підготовки стовбура свердловини до кріплення.

Отримані результати лабораторно-промислових і аналітичних досліджень є базовими для проектування режимних параметрів процесу цементування обсадної колони з гарантованим