

of control of the casing pipe screwing torque, are the main reasons for the breach of the tightness of the threaded joints of the mentioned structures. An analysis of the influence of design parameters on the durability and tightness of threaded connections of drilling, casing and pump-compressor pipes is presented. The elastic-deformed state of the connection of pipes with an inserted turn has been scientifically substantiated. One of the ways of developing the design of ultra-hermetic connections of thin-walled pipes with an inserted turn is considered. The essence of analytical studies on the tightness of the structure for high values of pressure and temperature is given. The probability of optimal parameters of such structures is determined.

Key words: endurance, connection, tightness, casing.

Література

1. Резьбовое соединение тонкостенных бурильных труб; пат. 1830409 Росія. Е 21В17/042 № 488116/03 заявл. 02.04.90; опубл.30.07.93. Бюл. № 28.
2. Резьбовое соединение бурильных труб: пат. RU181276U1 E21B17/042 F16L 15/001. №2018113817; заявл.16.04.2018; опубл. 09.07.2018, Бюл. № 19. 8 с.
3. Різьбове з'єднання обсадних та насосно-компресорних труб: пат. 57111 Україна: E21B 17/02 E21B 17/042. №u201009211; заявл. 22.07.2010; опубл. 10.02.2011, бюл. № 3. 4 с.

Надійшла 27.09.23

References

1. Chernov, B.O., Krizhanivski, Ye. I., Dovzhok, Ye. M., Khoma, D.I., Chernov, M.O. (1990). Patent of Russia. №488116/03. E21B17/042. Rezbovoye soyedineniye tonkostennyh burilnyh tryb [Threaded connection of thin-walled drill pipes] (Patent in USSR № 488116/03).
2. Zharennikov, B. S., Purtov, S. L., Kurnev, Ye. M., Dolgih, S. N., Popov, A.Yu. (2018). Patent of Russia №2018113817 E21B17/042 F16L 15/001. Rezbovoye soyedineniye burilnyh tryb [Drill Pipe Threaded Connection] (Patent in Russia № 2018113817).
3. Chernova, M. Ye., Yavorskiy, V. M., Chernov, B. O., Chernov, V. B. (2011) Patent of Ukraine №57111. МПК E21B 17/02 E21B 17/042. Rizbove zyednannia obsadnyh ta nasosno-kompresornyh trub [Threaded connection of casing and pump-compressor pipes] (Patent Ukraine №57111).

УДК 622.243.95

DOI: 10.33839/2708-731X-25-1-39-49

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

ВИЗНАЧЕННЯ ЗМІСТУ ОКРЕМИХ СКЛАДОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ГІДРОМЕХАНІЧНОГО БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН

В роботі виконано деталізоване аналітичне, лабораторне та стендове вивчення головних закономірностей процесів руйнування гірського масиву під впливом різних факторів, а також пошук шляхів ефективного функціонування інноваційних пристроїв комплексного гідромеханічного буріння в гірських породах, які відрізняються за основними показниками фізико-механічних властивостей із наступною розробкою на основі отриманих даних раціонального техніко-технологічного регламенту спорудження свердловин різних груп приналежності із високими організаційно-економічними показниками.

Визначення основних технологічних особливостей вибійних руйнівних процесів, реалізованих при застосуванні пристроїв комбінованого гідромеханічного буріння, виконано за додержання

методик аналітичного аналізу й експериментальних досліджень, а також шляхом залучення до процесів вивчення окремих прийомів математичного і фізичного моделювання, методик теоретичної обробки й інтерпретації результатів досліджень

Вивчено основні особливості нині застосовуваних, здебільшого механічних, способів буріння свердловин. Визначено переваги гідромеханічного способу буріння з позицій суттєвої інтенсифікації вибійних процесів руйнування гірського масиву за рахунок створення розвиненої системи тріщин в породах. Визначено спільні риси циклу формування різних частин вибою свердловини при застосуванні проєктованих пристроїв. Переконаливо доказано, що результати руйнівних процесів (об'єм лунки руйнування), знаходяться в залежності від таких аргументів, як інтенсивність прикладення навантаження, тобто швидкість руху куль, та їх кількість. Доведено існування фактору можливості і обґрунтованої необхідності застосування поверхнево-активних речовин в якості основних активаторів деформаційних взаємодій в парі «породоруйнівна куля - гірський масив», проте означене потребує раціонального підбору хімічних компонентів середовища руйнування.

Представлені до обговорення результати аналітичних й лабораторно-стендових досліджень є підґрунтям для розробки конструктивних і методичних основ реалізації базових принципів гідромеханічного буріння; вони з успіхом можуть бути використанні при адаптації інших способів буріння до конкретних свердловинних умов.

Ключові слова: гідромеханічне буріння, свердловина, вибій, дисперсійне середовище, гірська порода, адсорбція, поверхнево-активна речовина, породоруйнівна куля, деформація, очисний агент.

Вступ

Розвинена промисловість потребує для свого сталого функціонування наявності джерел енергії та сировинних компонентів, абсолютна більшість яких знаходиться в земних надрах на віддалених горизонтах [1].

Відомо, що здійснення будь-яких робіт, які тим або іншим чином пов'язані із пошуком, розвідкою та розробкою різноманітних родовищ корисних копалин в обов'язковому порядку супроводжується застосуванням свердловинних технологій. Позначене свідчить про те, що існує потреба в спорудженні великої кількості свердловин (шляхом застосування операцій буріння), цілком очевидно, різної глибини та таких, що розташовані в товщі гірських порід із значним коливанням механічних властивостей [2].

Слід зазначити наступне: механічні властивості гірських порід характеризуються поведінкою останніх при впливі на них зовнішніх сил різного походження та інтенсивності. Щодо особливостей самого циклу отримання свердловин, то він супроводжується руйнуванням гірських порід при застосуванні, здебільшого, механічного впливу (не виключаючи інших). Однак аналіз процесів буріння свердловин доводить, що швидкість їх поглиблення в гірському масиві не є достатньою для того, щоб можна було вести розмову про досягнення гранично високих техніко-економічних показників. Зробимо акцент на важливому положенні: поглиблення свердловини – це комплекс операцій, який складається, безпосередньо з руйнування гірської породи на вибої означеної специфічної гірської виробки (круглого перерізу та малого, порівняно з довжиною, діаметру), очищення вибою та стовбура останньої від зруйнованої породи (продуктів руйнування у вигляді бурового шлам), подавання бурового інструменту на вибій із певним зусиллям. Інтенсифікація руйнування – за буріння свердловин – дозволить, до прикладу, пришвидшити проходження необхідного інтервалу стовбура свердловини, який потребує свого закріплення (через поглинання, прояви, нестійкість тощо), та тим самим уникнути невиправданих витрат на дотримання параметрів гідравлічної програми промивання означеної гірської виробки [3].

Пошук шляхів удосконалення процесів дезінтеграції гірських порід повинен в обов'язковому порядку ґрунтуватися на детальному аналізі елементарного акту взаємодії ініціатора руйнування (будь-якого фізичного походження та втілення) із об'єктом впливу.

Технологія буріння повинна бути спроектована таким чином, щоб механізм реалізації вибійних процесів, циркуляційна ланка свердловини, привод бурової установки сприяли збільшенню ефективності та економічності руйнування порід вибою [4].

Робіт, що присвячені розгляду окремих операцій складного процесу спорудження свердловин, існує достатня кількість [5], проте всі вони можуть бути класифіковані за певним напрямком раціоналізації та метою, що досягається. Вказане в повній мірі відноситься і до механізму руйнування гірського масиву. Його особливості, згідно з уявленнями дослідників та взятими до аналізу фактичними даними [6], будуть, підкреслимо – укрупнено, визначатися фізико-механічними властивостями гірських порід (до них відносять механічну міцність, пружність, пластичність, крихкість, твердість, абразивність, щільність, пористість, стійкість тощо); способом активної взаємодії із об'єктом впливу – гірським масивом, який супроводжується застосуванням відповідних технічних засобів та інструменту; режимно-технологічними параметрами вибійних руйнівних процесів (їх суть та номенклатура повністю залежать від прийнятого до реалізації методу дезінтеграції породного масиву).

Виходячи з ключових позицій циклу руйнування гірського масиву та основних відомостей про нього [7], можемо зазначити, що фізико-механічні властивості гірських порід в окремих аспектах можуть бути піддані цілеспрямованому регулюванню з метою зниження опору руйнуванню (це не єдиний можливий варіант рішення, але в даному ракурсі він виступає головним завданням); досягається вказане за рахунок скерованого регулювання властивостей промивальних рідин, в циркуляційному середовищі яких, власне, і відбувається кожний елементарний акт руйнівного процесу.

Щодо особливостей застосовуваних нині способів буріння [8], то їх можна умовно поділити на механічні (здійснювані за допомогою спеціального, стаціонарно розташованого в привибійній зоні свердловини, породоруйнівного інструменту, у вигляді бурових доліт та коронок певного конструктивного виконання, із озброєнням типу твердого сплаву або алмазів різного походження і адаптації до застосовування) та немеханічні (в даному випадку це так звані фізичні, а саме: термічні, вибухові, гідравлічні, електрофізичні та комплексні, що допускають можливість застосування сучасних досягнень, наприклад, хімічних наук), які знаходяться на стадії промислового застосування, лабораторного вивчення або аналітичних досліджень. Зазначимо тут, що чисто обертальний метод буріння, як і його модифікації, є найбільш розповсюдженим; більшість робіт виконується саме за допомогою цього виду буріння, але це не є підставою вважати його найбільш досконалим [9].

Вивчення матеріалів лабораторно-стендових робіт [10], присвячених безпосередньо дослідженню акту руйнування гірських порід, доводить, що удосконалення процесів формування вибою свердловини в гірському масиві може відбуватися на підставі суттєвої трансформації протікання відповідного циклу в напрямку зростання інтенсивності деформаційного впливу, комбінування різнорідних полів активної дії на об'єкт обробки.

Розглядаючи можливість удосконалення будь-яких технологічних процесів [11], до числа останніх цілком обґрунтовано належить також і буровий, необхідно констатувати, що це здійсненним є лише за умов вивчення всіх його складових в логічній взаємодії та залежності. Оскільки в основу сформульованих підходів покладено необхідність раціоналізації акту руйнування гірських порід, до уваги слід прийняти: відбиток властивостей гірського масиву на закономірності розвитку в ньому руйнівних деформацій; явища фізико-хімічної взаємодії циркуляційного середовища, у вигляді промивальної рідини, на механізм відділення та транспортування на поверхню продуктів руйнування гірських порід (бурового шламу), а також механізм взаємно-обумовлюючого впливу породоруйнівного вузлу та породного вибою.

Складність поставленого завдання є очевидною, позаяк безпосереднє вивчення акту руйнування гірського масиву, на вибої споруджуваної свердловини, майже нездійсненне. Викладена обставина суттєво обмежує можливості щодо визначення якісної та кількісної сторін реальних руйнівних процесів та значно ускладнює перевірку адекватності відповідних

теоретичних положень. З огляду на викладене, не потребує жодних доказів те, що тільки на підставі комплексного дослідження багатограничних чинників процесів руйнування гірських порід можлива побудова реальної картини відповідних вибійних процесів та супроводжуючих їх явищ [12].

На даний час існує у край необхідна потреба в розробці інноваційних підходів до вирішення проблематики збільшення продуктивності циклу буріння свердловин різного призначення. Це може розглядатися як підвищення швидкостей поглиблення, а може і виступати чинником скорочення витрат на інструмент, обладнання, енергетичні компоненти, оскільки перелічене становить досить велику частку від загальної кінцевої вартості спорудження свердловин, особливо в складних геологічних та гірничотехнічних умовах [13].

Вивчення основних властивостей та характеру поведінки гірських порід відносно до необхідності розробки прийомів їх ефективного руйнування є обов'язковим елементом наступного вдосконалення підходів до вибору прийняттого способу дезінтеграції гірського масиву, його техніко-технологічного супроводження; за вказаного з'явиться реальна можливість отримання вихідних розрахункових і обмежуючих даних для обґрунтування раціональних критеріїв впливу на хід на направленість вибійних процесів [14].

В означених умовах кардинально важливо сформулювати гранично точний алгоритм пошуку корисних рішень, оскільки вони тільки в своєму взаємозв'язку дозволять досягти необхідних результатів.

Мета статті полягає в деталізованому аналітичному, лабораторному та стендовому вивченні головних закономірностей процесів руйнування гірського масиву під впливом різних факторів, а також пошуку шляхів ефективного функціонування інноваційних пристроїв комплексного гідромеханічного буріння в гірських породах, які відрізняються за основними показниками фізико-механічних властивостей, із наступною розробкою на основі отриманих даних раціонального техніко-технологічного регламенту спорудження свердловин різних груп приналежності із високими організаційно-економічними показниками.

Обґрунтування вживання і опис вибраної автором методики

Визначення основних технологічних особливостей вибійних руйнівних процесів, реалізованих при застосуванні пристроїв комбінованого гідромеханічного буріння, виконано за додержання методик аналітичного аналізу й експериментальних досліджень, а також шляхом залучення до процесів вивчення окремих прийомів математичного й фізичного моделювання, методик теоретичної обробки й інтерпретації результатів досліджень у середовищі SOLIDWORKS, STATGRAPHICS, MATHCAD, відповідних контрольно-вимірвальних приладів, інструментарію й матеріалів [11, 15].

Вибійні процеси моделювались на спеціальній стендовій установці, обладнаній контрольно-вимірвальними приладами й пристроями (зокрема: витратомір, манометр, тахометр, координатник, підшипниковий вузол позиціонування, механізм подавання).

Результати процесу руйнування гірського масиву ударами куль контролювалися за допомогою електронного штангенциркулю з глибиноміром (глибина лунки руйнування). Об'єм лунки руйнування визначався шляхом заповнення її пластиліном або парафіном.

Поверхневий натяг промивальної рідини визначався сталагмометричним методом, що ґрунтується на залежності кількості крапель, утворених з об'єму сталагмометра, від поверхневого натягу рідини.

Результати дослідження

Предметно визначено, що з ряду найбільш вагомих операцій циклу спорудження свердловин, особливої уваги заслуговує етап формування стовбура вказаної виробки в

гірському масиві, а саме руйнування породи за допомогою застосування певного виду, наприклад механічного, впливу [6].

Саме операція руйнування гірської породи має досить великий апарат можливостей свого корінного вдосконалення; тут важливо визначитися з принципами підходів до означеного. Складність пошуку ефективних (та вкрай насущних для сучасного етапу розвитку техніки і технології буріння) рішень щодо розробки досконалих прийомів та методів руйнування гірського масиву полягає, серед іншого, у відомих труднощах прямого вивчення свердловинних дезінтеграційних процесів. На даний час не існує жодного достатньо точного інструментарію контролю розвитку миттєвих та інтегральних процесів акту руйнування гірського масиву в реальних умовах буріння свердловин. На допомогу тут може прийти лабораторне вивчення всього процесу руйнування гірських порід, або його окремих етапів, на спеціально сконструйованих стендах із відповідним методологічним супроводженням; такий підхід дозволяє уникнути більшості перепон, що виникають за досліджень та інтерпретації реальних свердловинних умов руйнування. Проте, як відомо, моделювання в цілому, та свердловинних умов зокрема, на лабораторному стенді також передбачає наявність деякого спрощення та прийняття спеціальних обмежень. З певною вірогідністю можна імітувати лише роботу вибійної компоновки бурового снаряда, без впливу на неї всієї бурильної колони. Додає складнощів і деяка невідповідність фізико-механічних властивостей досліджуваних стендових блоків гірських порід їх природному стану в товщі геологічного розрізу. При цьому стендові дослідження дозволяють досить предметно моделювати роботу озброєння механічного породоруйнівного інструменту у вигляді кожного окремого індентора, занурюваного в гірську породу. Суттєві можливості відкриває аналітичний метод вивчення процесів руйнування, що в деякому наближенні дозволяє розкрити ті їх сторони, які недоступні для безпосереднього свердловинного вивчення та моделювання [4].

Відповідно до даних численних досліджень циклу руйнування гірської породи механічними методами, його можна звести до прояву оборотних (пружних) та незворотних (пластичних) деформацій із зминанням, роздавлюванням та різанням [9]. Для досягнення максимальної ефективності механічних методів, їх необхідно реалізовувати за наступних умов: активна дія механічного інструменту на породу повинна сприяти якнайповнішому розвитку деформацій; із метою недопущення зайвих витрат енергії на повторне руйнування і подрібнення вже відділеної від масиву гірської породи, останню потрібно миттєво видаляти із зони руйнування; треба уникати, або зводити до певного мінімуму витрати роботи, які пов'язані із тертям та зношуванням породоруйнівного інструменту; процеси руйнування необхідно здійснювати при мінімальних витратах роботи на пластичні та пружні деформації, іншими словами збільшувати швидкості прикладення руйнівних навантажень, що досить складно реалізувати, як технічно так і технологічно, при застосуванні класичних механічних способів руйнування гірського масиву.

Резюмуючи, можна сформулювати наступні суттєві положення: механічне буріння виступає способом, який здійснюється виключно породоруйнівними інструментами різного конструктивного виконання, причому гірська порода руйнується в результаті саме механічного впливу породоруйнівного інструменту на породний вибій; недоліків механічного буріння достатньо велика кількість, проте до головних з них належить знос робочих елементів породоруйнівних інструментів, що призводить до необхідності його заміни, а також низький коефіцієнт використання енергії, який закономірно зменшується із збільшенням глибини свердловини [14].

Приймаючи до уваги перелічені особливості механічного способу буріння із застосуванням відповідних доліт, було запропоновано його деяким чином трансформувати, а саме включити до конструкції названого інструменту вузли для формування потоків високонапірних струменів. Оформлена таким чином компоновальна схема отримала назву гідромоніторного долота, яке, на відміну від доліт із звичайним – центральним промиванням,

додатково використовує енергетичні характеристики потоку промивальної рідини з метою досягнення більш досконалого очищення свердловини та інтенсифікації процесів руйнування породи. Досвід гідромоніторного буріння було поширено шляхом уведення в потік абразивних матеріалів, таких як кварцовий пісок та сталеві кулі невеликого діаметру, що дозволило пришвидшити розвиток процесів руйнування гірської породи на вибої свердловини [7].

Отже, способи буріння, що додатково використовують енергію потоку промивальної рідини для здійснення процесів руйнування можна віднести до так званих фізичних способів, а доповнюючи їх наявністю активного впливу хімічних полів, поява яких досягається введенням до промивальних рідин деякої кількості поверхнево-активних речовин (ПАР) [16], названі способи цілком обґрунтовано можна вважати комплексними. До таких можна віднести послідовно розроблений гідромеханічний спосіб буріння, ефективно здійснюваний із застосуванням рухливих твердих куль (а в деяких інтерпретаціях – дробу) [8]. Суттєвою особливістю зазначеного способу є комплексування в конструкції технічних засобів гідромеханічного буріння різних за механізмом способів формування свердловини в її вибійній частині, тобто – гідромеханічний вплив на центральну частину вибою та, особливий в реалізації, так званий механогідравлічний на периферійну. Процес руйнування, в даному випадку, має суттєві відмітні ознаки, прояв яких пов'язаний із принципово різними механізмами утворення центральної й периферійної частин вибою свердловини, оскільки залучення до контактної взаємодії із гірським масивом породоруйнівних елементів відбувається за різних технологічних схем. Результатом вказаного є кардинальна розбіжність між послідовністю й результатами кожної складової акту руйнування породи, відповідно до схеми реалізації, та поява гострої необхідності суворо однозначної класифікації комплексних процесів створення вибою свердловини.

При гідромеханічному бурінні формування руйнівних напружень – для центральної частини вибою свердловини – здійснюється у спосіб ініціювання руху твердих сталевих куль,

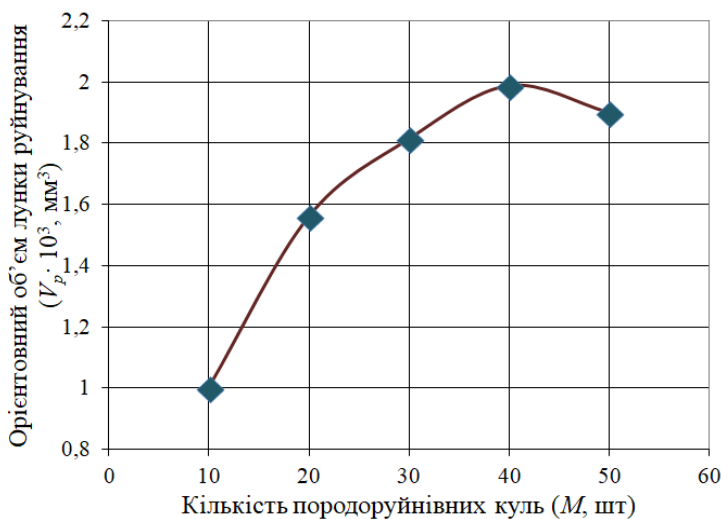


Рис. 1. Взаємозв'язок між параметрами M та V_p при дослідженні вибійних процесів в модельних свердловинах гідромеханічного буріння для умов руйнування зразків крупнозернистого граніту

які при певній набутій швидкості стикаються з вибоєм та утворюють у ньому зону деформацій у вигляді лунки руйнування; охарактеризувати останню можна такими параметрами як глибина (h_p , мм) та об'єм ($V_p \cdot 10^3$, мм³). Саме вказані величини дозволяють судити про досягнутий рівень інтенсифікації вибійних руйнівних процесів для гірської породи [12].

Важливим питанням проєктування раціонального технологічного регламенту гідромеханічного буріння є визначення мінімально необхідної кількості куль (M), що циркулюють в привибійній зоні свердловини та створюють умови для виникнення зон руйнування. В результаті проведених стендових досліджень вдалось з'ясувати деякі закономірності впливу параметру M на результати розвитку руйнівних процесів (рис. 1).

Наведені ілюстративні дані (рис. 1) свідчать про те, що такий параметр як об'єм лунки руйнування в гірському масиві V_p знаходиться в залежності від кількості одночасно задіяних

в процесах вибієної циркуляції куль (M); причому число M чинить різнохарактерний вплив на результати руйнування та для нього можна знайти раціональне значення, яке буде відповідати найбільш ефективній фазі процесу вибієного руйнування за реалізації основ гідромеханічного способу. Досліджування здійснювалися при орієнтовних швидкостях руху породоруйнівних куль $v \approx 40$ м/с, діаметр останніх складав $d_k = 5$ мм; процеси руйнування відбувалися в середовищі технічної води, додатково обробленої ПАР сульфонол (концентраційний вміст $C = 3,0$ г/л).

Численними дослідженнями переконливо доведено, що очисний агент, представлений технічною водою, не може створювати достатньо прийнятних умов інтенсифікації деформаційних явищ у гірському масиві. Тільки очисні агенти, які додатково оброблені ПАР, можуть виступати активними учасниками процесу руйнування, особливо показово це можна продемонструвати на прикладі реалізації основ гідромеханічного способу, який, з позицій наявності значної за масштабами системи деформаційних порушень у вигляді тріщин, може бути значно позитивно трансформований у напрямку суттєвого зниження міцності оброблюваних поверхонь в результаті виникнення наслідків прояву явищ зменшення поверхневого натягу та адсорбції.

В табл. 1 представлено стендові результати вивчення процесів руйнування модельного гірського масиву за умов протікання деформаційних процесів в середовищах, які містять компоненти ПАР.

Таблиця 1. Експериментальні дані щодо результативності обробки промивальних рідин деякими ПАР та їх композицією

Найменування досліджуваних гірських порід	Стан вибою модельної свердловини	Найменування ПАР або їх композицій	Режимні та технологічні параметри процесу руйнування гірських порід		
			Орієнтовна швидкість прикладення руйнівного навантаження (v , м/с)		
			20	30	40
			Приблизний об'єм лунки руйнування ($V_p \cdot 10^3$, мм ³)		
граніт крупнозернистий	монолітний	Сульфонол	0,829	1,13	1,814
		Катапін К	0,622	0,846	1,36
		ОП-10	0,468	0,664	0,948
		Сульфонол + ОП-10	0,998	1,342	2,12

Детальний аналіз даних табл. 1 дає суттєві відомості про механізм впливу окремих типів ПАР та їх композицій на процеси розвитку й результати прояву руйнівних деформацій; також доведено, що за умов експерименту найбільшою поверхневою активністю відзначаються композиції реагентів (суміш сульфонолу та ОП-10). Хімічна обробка очисного агенту, представленого технічною водою відбувалося у такому компонентному співвідношенні: сульфонол з $C = 3,0$ г/л, ОП-10 з $C = 3 \cdot 10^{-6}$ моль/л і електроліт CaCl_2 з $C = 1 \cdot 10^{-3}$ моль/л (застосування фонові речовини CaCl_2 полягало в нівелюванні впливу сторонніх іонів дисперсійного середовища, які чинять активний хімічний вплив на результати адсорбції – головного фактору інтенсифікації руйнівних процесів.

Відповідно до вирішуваних задач, ідентифікатором корисності конкретного ПАР може слугувати величина поверхневого натягу (σ , Н/м) підданих хімічній обробці очисних агентів (табл. 2).

Таблиця 2. Результати визначення поверхневого натягу промивальних рідин, хімічно оброблених деякими ПАР та їх композицією

Найменування оброблюваного середовища	Найменування ПАР або їх композицій	Фізико-хімічні характеристики процесу обробки промивальної рідини							
		Концентрація ПАР у водному розчині (C, г/л)							
		0	0,5	1	2	3	4	5	6
вода технічна	Сульфонол	72	50	38	32	29,6	29,2	29	28,8
	Катапін К	72	60	46,8	41,6	39,98	39,92	39,9	39,88
	ОП-10	72	70	68	60	54,8	43,6	35	33,8
	Сульфонол + ОП-10	72	57,8	35,2	25,2	24,2	24	23,8	23,6

Проводячи аналіз даних табл. 2, можна констатувати, що існує цілком закономірний зв'язок між параметрами σ (поверхневий натяг) та V_p (об'єм лунки руйнування), тобто обов'язковою умовою інтенсифікації вибійних деформаційних та руйнівних процесів виступає якомога більше зниження величини поверхневого натягу застосовуваних промивальних рідин.

Хімічна обробка промивальних рідин сприяє також і позитивному зрушенню в механізмі протікання процесів формування профілю периферійної зони вибою свердловини за допомогою куль та спеціальних конструкцій руйнівних органів – це так званий механогідравлічний спосіб (рис. 2).

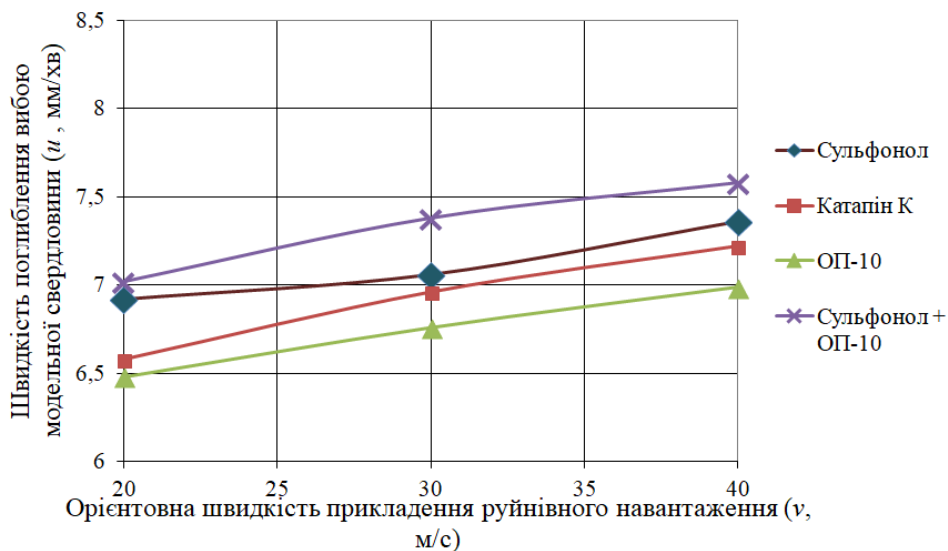


Рис. 2. Механізм протікання деформаційних процесів при обробці периферійної зони свердловини гідромеханічного буріння

Наведені на рис. 2 експериментальні дані беззаперечно доводять існування впливу наявності активних компонентів в промивальній рідині на хід процесів та результати розвитку руйнівних деформацій (на прикладі швидкості поглиблення вибою модельної свердловини u , вимірюваної в мм/хв) при формуванні периферійної частини свердловини гідромеханічного буріння. Таким чином можна стверджувати, що в ряду «Сульфонол - Катапін К - ОП-10 - Сульфонол + ОП-10» (розміщених в порядку результативності впливу на параметр u), композиційний склад ПАР є найбільш прийнятним.

Висновки

1. Шляхом аналітичного підходу з'ясовано основні аспекти реалізації сучасних механічних способів буріння, вказано на їх переваги та недоліки.

2. З'ясовано основні принципи впливу кількості одночасно працюючих на вибої споруджуваної свердловини породоруйнівних куль на результати руйнівних процесів за реалізації принципів гідромеханічного буріння.

3. Вивчено особливості деформаційних взаємодій в парі «породоруйнівна куля - гірський масив» (при обробці різних частин вибою свердловини гідромеханічного буріння), які протікають в хімічно-активованому, за допомогою відповідних поверхнево-активних речовин, середовищі.

4. Подальші аналітичні та лабораторно-стендові дослідження основних параметрів гідромеханічного буріння необхідно продовжувати в напрямках пошуку раціональних техніко-технологічних схем їх супроводження з максимальною адаптацією до конкретних свердловинних умов.

A. Ihnatov

National Technical University "Dnipro Polytechnic"

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

Detailed analytical, laboratory and bench study of the main patterns of rock destruction processes under the influence of various factors. Finding ways to effectively operate innovative devices for complex hydromechanical drilling in rocks that differ in the main indicators of physical and mechanical properties. Development of technical and technological regulations for the construction of wells of different access groups with high organizational and economic indicators.

Determination of the main technological features of downhole destruction processes implemented while using combined hydromechanical drilling devices was carried out in compliance with the methods of analytical analysis and experimental research. It was also used to involve in the process of studying certain techniques of mathematical and physical modeling, methods of theoretical processing and interpretation of research results.

The main features of the currently used, mainly mechanical, methods of drilling wells have been studied. The advantages of the hydromechanical drilling method have been determined from the standpoint of significant intensification of downhole processes of destruction of the rock mass due to the creation of a developed crack system in the rocks. The general features of the formation cycle of different parts of the well bottom when using the designed devices are determined. It has been convincingly proven that the results of destruction processes (the volume of the destruction hole) depend on such arguments as the intensity of the load applied, in other words, the speed of movement of the balls, and their number. The existence of the factor of possibility and justified necessity of using surfactants as the main activators of deformation interactions in the "rock-breaking ball - rock massif" pair has been proven, but this requires a rational selection of the chemical components of the destruction medium.

The results of analytical and laboratory bench studies presented for discussion are the basis for the development of constructive and methodological foundations for the implementation of the basic principles of hydromechanical drilling; they can be successfully used when adapting other drilling methods to specific well conditions.

Key words: *hydromechanical drilling, borehole, well face, dispersion medium, rock, adsorption, surfactant, rock-breaking balls, deformation, cleaning agent.*

Література

1. Robertson, J.O., Chilingar, G.V. Environmental aspects of oil and gas production. Scrivener Publishing LLC, 2017. – 396 p.
2. Vaddadi, N. Introduction to oil well drilling. Bathos (U Vee Infosystems), 2015. – 204 p.

3. Павличенко А.В., Ігнатов, А.О., Коровяка Є.А., Барташевський С.Є., Коротка І.Ю., Мекшун М.Р. Основи організації системи гідравлічного очищення свердловин. *Збірник наукових праць НГУ*. 2021. Вип. 67. С. 136–152.
4. 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.
5. Коровяка Є.А., Ігнатов А.О. Прогресивні технології спорудження свердловин. – Дніпро: НТУ «ДП», 2020. – 166 с.
6. 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.
7. Ihnatov A. Analyzing mechanics of rock breaking under conditions of hydromechanical drilling. *Mining of Mineral Deposits*. 2021. Vol. 15, N 3. P. 122–129.
8. 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. Hossain M.E., Islam M.R. Drilling engineering: problems and solutions. Wiley – Scrivener Publishing, 2018. – 627 p.
10. Павличенко А.В., Коровяка Є.А., Ігнатов А.О., Давиденко О.М. Гідрогазодинамічні процеси при спорудженні та експлуатації свердловин. – Дніпро: НТУ «ДП», 2021. – 201 с.
11. Lyes, B. Reconfigurable Manufacturing Systems: From Design to Implementation (Springer Series in Advanced Manufacturing). Springer, 2020. – P. 250.
12. Ihnatov, A., Haddad, J.S., Koroviaka, Ye.A., Aziukovskyi, O., Rastsvietaiev, V., Dmytruk, O. Study of rational regime and technological parameters of the hydromechanical drilling method. *Archives of Mining Sciences*. 2023. N 2. P. 285 – 299.
13. Войтенко В., Вітрик В. Технологія і техніка буріння. К.: Центр Європи, 2012. – 708 с.
14. Azar J.J., Robello S.G. Drilling Engineering. – PennWell Corporation, 2007 – 486 p.
15. Sadeghi, J. Uncertainty Modeling for Engineers. Github publishing, 2021 – 96 p.
16. Гупало О.П., Тушницький О.П. Органічна хімія. – К.: Знання, 2010. – 431 с.

Надійшла 13.10.23

References

1. Robertson, J.O. & Chilingar, G.V. (2017). *Environmental aspects of oil and gas production*. Scrivener publishing.
2. Vaddadi, N. (2015). *Introduction to oil well drilling*. Bathos (U Vee Infosystems).
3. Pavlychenko A., Ihnatov, A., Koroviaka Ye., et al. (2021). Osnovy orhanizatsii systemy hidravlichnoho ochyshchennia sverdlovyn [Fundamentals of organizing a hydraulic well cleaning system]. *Collection of research papers of the NMU*, 4(67), 136–152 [in Ukrainian].
4. Aziukovskyi O.O., Koroviaka Ye.A., & Ihnatov A.O. (2023). *Drilling and operation of oil and gas wells in difficult conditions*. Dnipro: Zhurfond.
5. Koroviaka, Ye.A. & Ihnatov, A.O. (2020). Prohresyvni tekhnolohii sporudzhennia sverdlovyn: monograph [Advanced well construction technologies]. Dnipro University of Technology [in Ukrainian].
6. 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.

7. Ihnatov, A. (2021). Analyzing mechanics of rock breaking under conditions of hydromechanical drilling. *Mining of Mineral Deposits*, 15(3), 122–129.
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. Hossain, M.E., & Islam, M.R. (2018). *Drilling engineering: problems and solutions*. Wiley – Scrivener Publishing
10. Pavlychenko, A.V., Koroviaka, Ye.A., Ihnatov, A.O. & Davydenko, A.N. (2021). *Гідродинамічні процеси при спорудженні та експлуатації свердловин: монографія [Hydro-gas-dynamic processes during the construction and operation of wells]*. Dnipro University of Technology [in Ukrainian].
11. Lyes, B. (2020). *Reconfigurable Manufacturing Systems: From Design to Implementation*. Springer Series in Advanced Manufacturing.
12. Ihnatov, A.O., Haddad, J.S., Koroviaka, Ye.A., et al. (2023) Study of rational regime and technological parameters of the hydromechanical drilling method. *Archives of Mining Sciences*. 2, 285–299.
13. Voitenko, V., & Vitryk, V. (2012). *Технологія і техніка буріння [Technology and technique of drilling]*. Center of Europe [in Ukrainian].
14. Azar, J.J., & Robello, S.G. (2007). *Drilling Engineering*. PennWell Corporation.
15. Sadeghi, J. (2021). *Uncertainty Modeling for Engineers*. Github publishing.
16. Hupalo, O.P., & Tushnytskyi, O.P. (2010). *Органічна хімія [Organic chemistry]*. Znannia [in Ukrainian].

УДК 622.233:551.49

DOI: 10.33839/2708-731X-25-1-49-58

А. К. Судаков¹, д-р техн. наук, Г.В. Гапич², канд. техн. наук, А. С. Шумов¹, Л.В. Голуб¹

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,
пр. Дмитра Яворницького, 19, 49005, Дніпро, E-mail: sudakovy@ukr.net,
Shumov.An.S@ntu.one

²Дніпровський державний аграрно-економічний університет,
вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро, E-mail: hapich.h.v@dsau.dp.ua

ОГЛЯД В'ЯЖУЧИХ РЕЧОВИН ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ БЛОКОВИХ ГРАВІЙНИХ ФІЛЬТРІВ ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ СВЕРДЛОВИН

Метою роботи є аналіз існуючих в'язучих речовин блокових гравійних фільтрів, використовуваних для обладнання ними водоприймальних частин гідрологічних свердловин. Поставлені завдання вирішувалися комплексним методом дослідження, що включає аналіз і узагальнення літературних і патентних джерел. Виконано аналіз існуючих в'язучих речовин блокових гравійних фільтрів, результатом якого стала розробка класифікації в'язучих матеріалів, заснованої на процесах гідратації, полімеризації, фазового переходу. У класифікації наведені речовини, які використовувалися як в'язучі матеріали для виготовлення циліндрово-порожніх блоків фільтрів, а також матеріали, використання яких принципово можливо після проведення додаткових досліджень.

Ключові слова: гідрологічні свердловини, блокові гравійні фільтри, в'язучі речовини.