

3. 3. Neskromnih, V.V. (2015). *Razrushenie gornyh porod pri bureanii skvazhin [Destruction of rocks during drilling]*. Moscow: INFRA-M; Krasnoyarsk: SFU [in Russian].
4. 4. Soloviev, N.V., Isonkin, A.M., Bogdanov, R.K., & Shestakov, S.I. (2010). *Mekhanizm razrusheniia gornoj porody i opredelenie sostavliaiushchikh sil ee rezaniia burovym instrumentom, osnashchennym almazno-tverdosplavnymi plastinami [The mechanism of rock destruction and determination of the components of its cutting forces with a drilling tool equipped with diamond carbide inserts]*. *Inzhener-neftjannik – Petroleum Engineer, 1*, 33–36 [in Russian].
5. 5. Neskromnykh, V.V., Chikhotkin, A.V., et al. (2020). *Analiz vliyaniya sil soprotivleniya na effektivnost' bureniya instrumentom tipa PDC [Analysis of the influence of resistance forces on drilling efficiency with a PDC tool]*. *Inzhener-neftjannik – Petroleum Engineer, 1*, 16-23 [in Russian].
6. 6. Neskromnykh V.V. Popova, M.S., & Baochanh, L. (2021). *Soprotivlenie porody pri bureii melkoreztsovim almaznym instrumentom [Rock resistance when drilling with small cutting diamond tools]*. *Izvestiia Tomskoho politekhnicheskoho universiteta. Inzhenerinzh heoresursos – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering, 332*, 6, 167–177 [in Russian].

УДК 622.24

DOI: 10.33839/2708-731X-24-1-62-76

**О.М. Давиденко**, д-р техн. наук; **В.О. Расцветаев**, канд. техн. наук;  
**О.О. Дмитрук**, **В.Є. Коровяка**

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,  
пр. Дмитра Яворницького, 19, 49027, м. Дніпро, Україна, e-mail: davidenko.a.n@ntu.one*

### **ОСОБЛИВОСТІ ДЕЯКИХ ВЗАЄМОДІЙ, СУПРОВОДЖУЮЧИХ ЦИРКУЛЯЦІЙНІ ПРОЦЕСИ В БУРОВИХ СВЕРДЛОВИНАХ**

*Мета роботи – дослідження сутності ключових фізико-хімічних і механічних процесів, що протікають при виконанні основних свердловинних і допоміжних операцій бурового циклу та визначення на їх основі змісту і послідовності виконання певних технологічних заходів гідравлічної програми промивання свердловин.*

*Методика – визначення змісту завдання та складання і формалізація розрахункової схеми досліджуваного об'єкту; розробка фізико-хімічної і механічної моделей, що описують характер відповідних технологічних процесів; вибір способу рішення поставлених завдань; рішення основних математичних залежностей процесу з максимальним використанням обчислювального експерименту; аналіз отриманих результатів; формулювання адекватних висновків та рекомендацій.*

*Проведеними дослідженнями послідовно проаналізовано вплив параметрів очисного агента на вибійні процеси руйнування порід та підтримки стійкості стінок стовбура свердловини. Показано наявність взаємозв'язку між фізико-геометричними і механічними характеристиками продуктів руйнування та дисперсної фази бурових розчинів, а також циркуляційними свердловинними та допоміжними процесами реалізації гідравлічної програми промивання свердловини, що знаходяться в прямій залежності від різноманіття геолого-технічних факторів. Здійснено експериментально-теоретичні дослідження кінетики подрібнювання гірських порід (компонентів складного бурового розчину), з урахуванням впливу на цей процес робочого середовища. Проведено лабораторні дослідження впливу середовища, до складу якого входять речовини, що вибірково хемосорбуються на поверхні розділу фаз, на процес руйнування матеріалів у кульовому, газоструменевому і вібраційному подрібнювачах. Аналіз механізмів руйнування гірських порід при бурінні свердловин показав, що в їхній основі лежать хвильові процеси, вплив на які мають промивні рідини.*

*Вибіркова хемосорбція речовин зі складу промивних і допоміжних технологічних рідин на поверхні гірських порід є основним регулювальником впливу на відповідні процеси при реалізації окремих операцій циклу спорудження свердловин; вибір речовин, які вибірково хемосорбуються зі складу рідин, необхідно здійснювати за умовою рівності потенціалів іонізації адсорбенту і адсорбату.*

*Для умов спорудження свердловин різного призначення запропонований подальший розвиток положень механіки руйнування гірських порід і фізико-хімії поверхневих явищ, зокрема, уточнений механізм процесів, які відбуваються на границях розділу «гірська порода – технологічна рідина»; встановлений кореляційний зв'язок між чинними факторами і властивостями гірських порід; запропоновано науково обґрунтовану методику вибору поверхнево-активних речовин для регулювання властивостей відповідних рідин; надано науковий прогноз застосування результатів роботи в інших галузях промисловості.*

**Ключові слова:** *свердловина, поверхнево-активна речовина, циркуляція, гірська порода, адсорбція, буровий розчин, дисперсна фаза, руйнування.*

### **Постановка проблеми**

Широковідоме таке загальне твердження: виробничий цикл буріння свердловин різного призначення складається з великої кількості трудомістких, енергоємних, складних і дорогих процесів: руйнування гірської породи на вибої [1]; видалення зруйнованої породи з-під торця породоруйнівного інструменту і транспортування її на поверхню; підтримки стінок свердловини в стійкому стані; спуска і підйому бурового інструменту та ін.

Ефективність цих процесів у значній мірі залежить від способу і режиму циркуляції і властивостей промивних рідин, вибір яких визначається екологічними і технологічними вимогами до них, а також гірничо-геологічними умовами буріння [2].

Технологія створення і застосування промивних рідин при бурінні свердловин постійно удосконалюється. З ростом глибин і ускладненням гірничо-геологічних умов при бурінні свердловин висуваються нові додаткові вимоги до властивостей промивних рідин, способу і режиму їхньої циркуляції.

Останнім часом значно збільшилася кількість робіт, присвячених використанню водних розчинів поверхнево-активних речовин (ПАР) при бурінні свердловин, як одного з найбільш перспективних наукових напрямків у цій області. Встановлено, що ПАР можуть впливати на енергоємність процесу руйнування гірських порід, стійкість породоруйнівного інструменту і стінок свердловини, реологічні властивості дисперсних систем тощо [3].

Проте, у такій важливій справі, як створення методики вибору складу промивних рідин та технології їх приготування і застосування, які забезпечують підвищення ефективності різних процесів при бурінні свердловин, практично відсутнє наукове обґрунтування комплексного підходу до вирішення цих задач.

Асортимент дисперсних систем, які застосовують у різних галузях промисловості, у тому числі і при бурінні свердловин, обумовлює необхідність проведення глибоких і всебічних досліджень по вивченню фізико-хімічних явищ, які можуть бути використані при створенні, приготуванні та застосуванні промивних рідин, і їхнього впливу як на окремі процеси, так і на весь цикл буріння свердловин [4].

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Промисловість України відчуває потребу у високоякісному вугіллі, залізній, марганцевій і поліметалевій руді і, особливо, у нафті та газу [5]. Забезпечити її цими корисними копалинами можна за рахунок збільшення обсягів буріння свердловин з високими техніко-економічними показниками. Для вирішення цієї важливої проблеми було здійснено аналіз кращого вітчизняного і закордонного досвіду, який дозволив зробити висновок про те, що промивні рідини, за участю яких протікають технологічні процеси – складові виробничого циклу буріння

свердловин, можуть істотно впливати на значення механічної і рейсової швидкості, проходки на породоруйнівний інструмент, виникнення різного роду ускладнень тощо [2].

Аналіз досвіду буріння свердловин різного призначення показав, що високі техніко-економічні показники окремих процесів і всього циклу в цілому можуть бути досягнуті тільки при створенні методики вибору високоякісних промивних рідин і удосконаленої технології їхнього застосування в сполученні із сучасним устаткуванням і інструментом [4].

Встановлено, що для виконання великої кількості функцій у різних геолого-технічних умовах промивні рідини повинні мати властивості, які визначаються їх компонентним і частковим складом.

Найбільш перспективною є пропозиція застосовувати при бурінні свердловин спосіб адсорбційного зниження міцності твердих тіл з використанням ПАР, які можуть бути включені до складу промивних рідин на водній основі [3]. Механізм дії ПАР полягає в тому, що вони при адсорбції на поверхні твердих тіл зменшують їхню поверхневу енергію, а значить, і роботу руйнування. Велику роль при цьому відіграють термодинамічні аспекти процесу, сутність яких полягає в тому, що енергія міжфазної взаємодії твердого тіла з робочим середовищем повинна бути того ж порядку, як і енергія зв'язку в самому твердому тілі. Значний вплив на руйнування твердих тіл чинять кінетичні аспекти.

При використанні активних середовищ при деформуванні і руйнуванні, вони проникають у мікротріщини зони передруйнування й утворюють адсорбційні шари на їх поверхнях, перешкоджаючи змиканню, тому зона передруйнування залишається. Для прояву впливу адсорбційних шарів необхідно, щоб процес руйнування періодично повторювався, і зона передруйнування мала можливість перетворюватися в зону руйнування [6].

Вказане вище дає підставу вважати, що адсорбційні процеси можуть бути основними при вивченні питань, пов'язаних з руйнуванням гірських порід, підвищенням зносостійкості породоруйнівного інструменту і стійкості стінок свердловини, регулюванням реологічних характеристик промивних рідин тощо [7].

### **Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми**

Застосовувані при бурінні свердловин промивні рідини являють собою складні фізико-хімічні дисперсні системи з сильно розвиненими поверхнями розділу фаз, що відіграють роль середовища, в якому протікають ці процеси, і визначають ступінь використання потенційних можливостей і ресурс бурового обладнання та інструментів, механічну швидкість, ймовірність виникнення різного роду ускладнень та ін.

Якщо до вільної поверхні твердого тіла, наприклад, гірської породи, докласти через жорсткий пуансон зовнішнє механічне навантаження, то при достатній величині останнього в тілі почнуть проявлятися пружні, а потім залишкові деформації. Разом з пуансоном у напрямку його руху буде зміщуватися матеріал, що знаходиться в зоні контакту пуансона з твердим тілом, а також деяка частина матеріалу, що знаходиться за межами контактної зони [8].

Таким чином, руйнування матеріалу відбувається шляхом чергування певних явищ, які можуть бути об'єднані в періоди і цикли. Кожен такий цикл буде закінчуватися відділенням від основного масиву деякого об'єму зруйнованого матеріалу і стрибкоподібним просуванням інструменту [9]. Рідини можуть чинити істотний вплив на ефективність цих процесів.

Усі тверді тіла, у тому числі і метали, з яких зроблений буровий породоруйнівний інструмент, неоднорідні за властивостями міцності. Поверхня металу має складний геометричний мікрорельєф. В результаті тертя і зносу породоруйнівний інструмент втрачає частину якого-небудь слабкого елемента, що перетворюється на порошок, і виходить з ладу. Поступове руйнування поверхневого шару відбувається внаслідок повільного докритичного росту тріщини уздовж граней кубиків, з якого складається поверхневий шар, до тих пір, поки

тріщини не досягнуть критичного розміру, після чого відбувається відділення цілих кубиків і усього шару.

Аналіз науково-технічних джерел, в яких наведено результати використання способу адсорбційного зниження міцності твердих тіл у різних технологічних процесах, у тому числі і при бурінні свердловин, показав, що він може проявлятися в різних формах з урахуванням умов: підвищення крихкості при зниженні міцності; прискорення пластичної деформації; зменшення границі плинності і коефіцієнта деформаційного зміцнення; зменшення довговічності та інші [3].

Зазначене дає підставу вважати, що адсорбційні процеси можуть бути основними при вивченні питань, пов'язаних з руйнуванням гірських порід, підвищенням зносостійкості породоруйнівного інструменту і стійкості стінок свердловини, регулюванням реологічних характеристик промивних рідин тощо. У той же час, у такій важливій справі, як підбір і застосування поверхнево-активних речовин у різних технологічних процесах, у тому числі і при бурінні свердловин, в основному використовують емпіричний підхід, який не враховує термодинамічні і кінетичні аспекти вказаних явищ.

Необхідно розвинути нові підходи до поглибленого вивчення проблеми розуміння сутності процесів, що виникають при взаємодії робочого середовища зі знову утвореною поверхнею при деформуванні і руйнуванні, з використанням сучасних методів і техніки. Це дозволить розробити наукове обґрунтування комплексного впливу промивних рідин на водяній основі на процеси при бурінні свердловин, наукові і технічні рекомендації з їхнього ефективного використання.

Мета статті – встановлення загальних закономірностей фізико-хімічних і механічних процесів, що протікають в стовбурі свердловини та при реалізації допоміжних операцій бурового циклу, і формулюванні на їх основі адекватних технологічних заходів гідравлічної програми промивання свердловини, реалізація якої дозволить надати процесу спорудження свердловин достатньо високу міру продуктивності і економічності.

### **Обґрунтування вживання і опис вибраної автором методики**

Основна ідея роботи полягає у використанні основних положень фізики твердого тіла, механіки руйнування і фізико-хімії поверхневих явищ при вивченні механізму взаємодії промивних рідин з гірськими породами і буровим інструментом, які дозволяють розширити можливості промивних рідин, а також обґрунтувати застосування фізичних і хімічних ефектів для підвищення техніко-економічних показників процесів при бурінні свердловин [10].

Для дослідження і оптимізації впливу промивних рідин на процеси при бурінні свердловин використовувався метод аналізу і узагальнення науково-технічних досягнень. Теоретичні дослідження ґрунтуються на застосуванні методів математичного та фізичного моделювання, функціонального аналізу, чисельних методів рішення. Вплив промивних рідин на фізико-механічні властивості та енергоємність руйнування гірських порід вивчався з використанням основних законів фізико-хімії поверхневих явищ і механіки руйнування. Для оцінки антикорозійних та антифрикційних властивостей промивних рідин були використані методи теорії тертя та корозійних процесів. Експериментальні дослідження виконано за методикою повного факторного експерименту, а обробку результатів – за методиками математичної статистики з використанням ЕОМ.

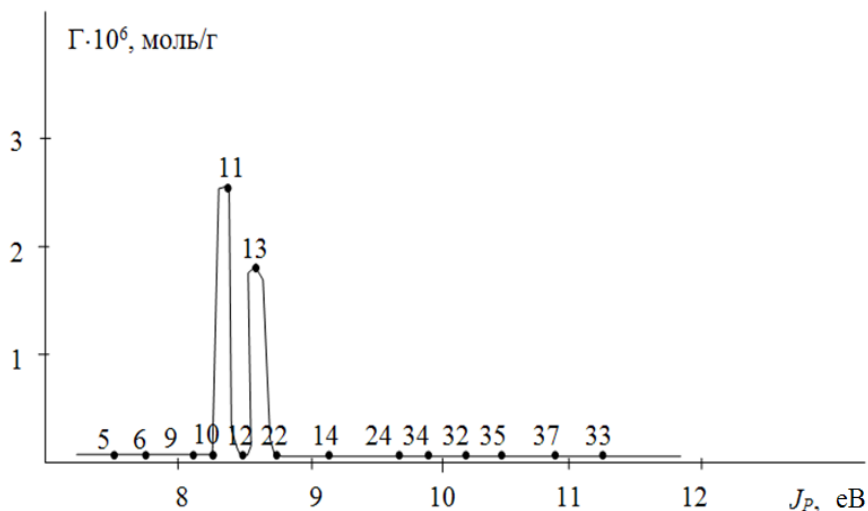
### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Присутність на контакті з гірською породою чужорідного середовища (бурового розчину) викликає фізико-хімічні процеси на межі розділу: осмотичні явища, поверхневу гідратацію, розчинення, капілярне проникнення тощо [3].

Присутність у складі промивної рідини хімічних речовин може істотно впливати на характер адсорбційних процесів [11]. Для вибору речовин, здатних витіснити з поверхні

глинистих порід адсорбовану воду, авторами роботи запропоновано використовувати умову рівності потенціалів іонізації адсорбенту і адсорбату.

На рисунку наведена залежність адсорбції на глинистому сланці органічних речовин від їх потенціалів іонізації ( $J_p$ ) [12]. В результаті проведених досліджень встановлено, що величина резонансного потенціалу іонізації дорівнює 8,3 еВ.



Залежність адсорбції на глинистому сланці органічних речовин від їх потенціалів іонізації (нумерація точок відповідає даним табл. 1)

Органічні сполуки вибиралися таким чином, щоб їх потенціали іонізації досить щільно перекрили діапазон значень від 6,88 до 11,3 еВ (табл. 1).

Таблиця 1. Органічні сполуки і їх перші потенціали іонізації

| №  | Сполука                 | $J_p$ , еВ | №  | Сполука                     | $J_p$ , еВ |
|----|-------------------------|------------|----|-----------------------------|------------|
| 1  | 2                       | 3          | 4  | 5                           | 6          |
| 1  | Бензидин                | 6,88       | 23 | 2-Пиколин                   | 9,02       |
| 2  | N,N-Диметиланілін       | 7,14       | 24 | 1,4-Нафтохинон              | 9,56       |
| 3  | Дифеніламін             | 7,25       | 25 | n-Бромдіметиланілін         | 7,05       |
| 4  | I-Нафтиламін            | 7,30       | 26 | Бензамід                    | 9,40       |
| 5  | M-Толудін               | 7,50       | 27 | 2,5-Динітробензойна кислота | 10,70      |
| 6  | Анілін                  | 7,70       | 29 | Пірокахетін                 | 8,07       |
| 7  | I-Нафтол                | 7,75       | 30 | Пікринова кислота           | 10,20      |
| 9  | Пірогалол               | 8,00       | 31 | 2,4 -Динітротолуол          | 10,15      |
| 10 | n-Креозол               | 8,24       | 32 | n-Нітробензальдегід         | 10,30      |
| 11 | Резорцин                | 8,31       | 33 | Нітрометан                  | 11,23      |
| 12 | Фенол                   | 8,50       | 34 | Нітробензол                 | 9,85       |
| 13 | Хінолін                 | 8,62       | 35 | 1,4-Динітробензол           | 10,44      |
| 14 | Фурфурол                | 9,21       | 36 | Акрилонітрил                | 10,90      |
| 15 | Піридин                 | 9,30       | 37 | 2-нітро-2-метилпропан       | 10,70      |
| 16 | Бензойна кислота        | 9,40       | 38 | 2-Амінопіридин              | 8,34       |
| 17 | Бензальдегід            | 9,51       | 39 | Анізол                      | 8,22       |
| 18 | Бензонітрил             | 9,71       | 40 | Дібензфуран                 | 7,90       |
| 19 | m-Нітробензойна кислота | 10,30      | 41 | Дифеніленоксид              | 8,09       |

| 1  | 2               | 3    | 4  | 5                 | 6    |
|----|-----------------|------|----|-------------------|------|
| 20 | м-Метилнафталін | 7,96 | 42 | Індол             | 7,74 |
| 21 | Флорглюцин      | 7,87 | 43 | Діметілхіналін    | 8,34 |
| 22 | 2,6-Лутидін     | 8,86 | 44 | Анісовий альдегід | 8,73 |

Вивчення адсорбції аніліну ( $J_p = 7,7$  eВ), резорцину ( $J_p = 8,31$  eВ) і бензойної кислоти ( $J_p = 9,4$  eВ) дозволило зробити такий висновок: хемосорбуватися на глинистому сланці здатний лише резорцин, який утворює з поверхнею хімічний зв'язок міцніший, ніж водневий зв'язок молекул води, що подібний ковалентному.

Фактором, який визначає результати міжфазної взаємодії системи «глиниста порода – вода», є міра гідратації твердої фази. Зв'язаною твердою поверхнею є адсорбуєма вода першого молекулярного шару. Вода дифузійних подвійних шарів іонів, яка утворює так звану оболонку гідрату, пов'язана дуже слабо.

Велике значення в буровій справі мають питання, пов'язані з диспергуванням порід (дисперсійної фази бурових розчинів), серед яких найбільш поширеним є механічне подрібнення. Залежно від природи матеріалу і характеру його використання, до подрібнення пред'являють різні вимоги, серед яких основним є отримання максимально тонких порошків при обмеженні витрат енергії і часу [13].

В процесі диспергування гірських порід можна виділити два етапи: руйнування зовнішнього шару частинок; агрегація частинок, як мимовільна, так і викликана зовнішніми стискаючими зусиллями.

Отже, вивчення процесу диспергування гірських порід пов'язано в першу чергу з проблемою міцності і агрегативної стійкості, що розглядається фізико-хімією дисперсних систем і поверхневих явищ. Для розуміння механізму подрібнення становить інтерес проведення теоретичних і експериментальних досліджень процесу диспергування і агрегації, та змін, що відбуваються в кристалічній структурі і енергетичному стані поверхневих шарів частинок гірської породи.

Зазвичай руйнування здійснюють шляхом механічної дії тіл, що мелють, або шматків породи [14]. До машин цього класу відносяться обертаючі, вібраційні, струменеві млини, молоткові, хвильові і інші дробарки. У гірничій промисловості частіше інших застосовують чотири типи млинів: обертаючі кульові, вібраційні, ударні і струменеві.

Обертаючі кульові млини складаються з пустотілого барабана, що має торцеві кришки, з порожніми цапфами, які встановлені в підшипниках. Помольна камера заповнена тілами, що мелють (кулі, кремнієва галька і ін.), і подрібнюваним матеріалом. При обертанні помольної камери мелючі тіла захоплюються за допомогою сил тертя і відцентрового ефекту, піднімаються на деяку висоту і падають вниз, подрібнюючи частки в зоні зіткнення. Переміщення матеріалу, що подрібнюється, здійснюється за рахунок природного напору останнього та за безперервної його подачі. За мокрого помелу – матеріал зволожується рідиною. У разі сухого помелу через млин може подаватися потік повітря, що виносить легші подрібнені частинки. Подача гарячого повітря дозволяє поєднати помел з сушінням.

Принцип дії вібраційних млинів заснований на приведенні маси куль і подрібненого матеріалу в круговий коливальний рух за допомогою вібратора, сполученого з електромотором. Частинки матеріалу руйнуються, падаючи в простір між кулями.

В ударних млинах (дезінтеграторах) подрібнення проводиться ударом обертових стрижнів по вільно падаючим часткам матеріалу. Дезінтегратор містить в своєму складі два диски, що обертаються один одному назустріч, з насадженими з внутрішньої сторони по колу рядами штифтів конічної або призматичної форми. Ряди штифтів обох дисків розташовані на

різних радіусах обертання і входять з деяким зазором один в інший. Подрібнюваний матеріал надходить в центральну частину барабана. Частинки, проходячи через ряди стрижнів, піддаються ударам і в міру просування до периферії стають все дрібніше, і або виносяться потоком повітря в класифікатор, або висипаються через донний люк. Ступінь подрібнення матеріалу в дезінтеграторі визначається швидкістю обертання дисків, їх діаметрами, числом рядів, розташуванням і розмірами стрижнів.

У струменевому млині кінетична енергія передається частинкам матеріалу, що подрібнюється, потоком повітря, пари або продуктів згоряння, а подрібнення здійснюється або при зіткненні зустрічних потоків, або при ударі об відбійну плиту.

Для вибору типу млина та оптимальних режимів його роботи необхідно в першу чергу знання законів подрібнення. Відомо кілька експериментально знайдених законів, кожен з яких справедливий лише для певних умов. Багато з них можуть бути формально виражені таким емпірично встановленим відношенням:

$$d\varepsilon = -C'' \frac{dx}{x'''} = C' \frac{ds}{s^{2-m}}, \quad (1)$$

де  $\varepsilon$  – енергія, що повідомляється одиниці об'єму руйнуемого тіла;  $x'''$  – середній розмір зерен;  $S$  – питома поверхня;  $C''$ ,  $m$ ,  $C'$  – емпіричні постійні.

Інтегрування співвідношення (1) при  $m = 1$  приводить до виразу

$$\varepsilon = C' \ln \left( \frac{S}{S_0} \right), \quad (2)$$

де  $S_0$  – питома поверхня твердого тіла до його подрібнення.

Цей вираз є законом Кирпичова-Кіка, що отриманий при додатковому припущенні про незалежність спектра осколків дроблення від розмірів частинок. Інтегрування при  $m_1 = 2$  дає закон Рітінгера, при  $m_1 = 1,5$  – закон Бонда. Відомі й інші емпірично встановлені відношення, еквівалентні при  $m_1 = 3$ ,  $m_1 = 4$  і т.д.

Також запропоновано рівняння кінетики подрібнення, що найбільш повно описує цей процес та пов'язує витрати енергії на подрібнення і дисперсність порошоків з витратами енергії на пластичні деформації в поверхневому шарі і іншими втратами, які ростуть пропорційно зростанню питомої поверхні:

$$d\varepsilon = \frac{gbeds}{a_2s} + \left( \frac{3b\beta l_1 + \gamma}{a_2} + \sigma \right) ds - \frac{b\beta l_1^2}{4a_2} S ds, \quad (3)$$

де  $\varepsilon$  – енергія, яка повідомляється одиниці об'єму тіла, що руйнується;  $S$  – питома поверхня;  $B$  – об'ємний фактор форми;  $a_2$  – постійна, незалежна від розмірів тіла, що руйнується;  $l_1$  – товщина шару, в якому відбуваються пластичні деформації;  $\beta$  – щільність енергії пластичних деформацій, що передують крихкому руйнуванню;  $\sigma$  – вільна енергія одиниці поверхні;  $\gamma$  – поверхнева щільність сил тертя і енергії утворення і руйнування агрегатів.

У рівнянні (3) перший член являє собою витрати енергії на об'ємне деформування твердого тіла відповідно до закону Кирпичова-Кіка, другий – витрати енергії на непружні деформації, роботу сил тертя і створення нових поверхонь, а третій враховує зміну обсягу області пластичних деформацій у зв'язку зі зміною розмірів часток.

Знання кінетики подрібнення необхідне для: розрахунку продуктивності млинів в залежності від крупності подрібненого продукту, встановлення співвідношення між величиною циркулюючого навантаження і продуктивністю млина при кондиційному за

крупністю продукті, розробки системи автоматичного управління процесом подрібнення, вирішення ряду інших питань, пов'язаних з роботою барабанних млинів.

Сформульовано положення про те, що продуктивність млина пропорційна кількості частинок більших, ніж граничний розмір, до якого ведеться подрібнення:

$$\frac{dR}{dt} = -kR, \quad (4)$$

де  $\frac{dR}{dt}$  – швидкість зменшення вмісту великого класу в млині, що дорівнює за абсолютною величиною вмісту в ній дрібного, тобто кондиційного за крупністю класу;  $k$  – коефіцієнт пропорційності, який залежить від умов подрібнення і властивостей матеріалу, що подрібнюється;  $R$  – вміст в млині класу, що крупніше граничного розміру, до якого ведеться подрібнення.

Авторами цієї роботи представляється, що (4) можна уточнити як

$$\frac{dR}{dt} = -kR - d_0, \quad (5)$$

де  $d_0$  – деяка швидкість подрібнення матеріалу, що складається тільки з одного великого класу.

Для проблеми диспергування гірських порід дуже важливим є створення середовищ, які забезпечують значний вплив на технологічні процеси, що збільшують міцність і стійкість і не погіршують властивості обладнання. У зв'язку з викладеним були проведені лабораторні дослідження, в яких вивчалася ефективність дії середовища на поверхневу енергію гірських порід і процес подрібнення в кульовому, вібраційному і газоструминному млинах. В якості модельного матеріалу використовували залізисті кварцити.

За зовнішнім виглядом кварцит являє собою дуже міцну, щільну породу, розбиту серією різноорієнтованих тріщин (з переважанням субвертикальних), за якими іноді спостерігається знаходження слабких локацій гідроксиду заліза і тонкодисперсного пірофіліту. Як показали дослідження шліфів під мікроскопом, кварцит має гранобластову і ліпідогранобластову структуру. Головним пороодоутворюючим мінералом є кварц. Серед великої маси зерен кварцу зустрічаються уламки кварцового порфіриту. Акцесорні мінерали – циркон, платит, рутил; рудні мінерали представлені гематитом, рідше гідроgetітом.

Гірську породу перед дослідженням дробили до розміру часток від 5 до 7 мм. Після цього навеску масою в 200 г замочували в досліджуваних розчинах (вода і водні розчини алкілфенолу) протягом 2 годин. Оброблений таким чином залозистий кварцит потім поміщали в лабораторний кульовий млин об'ємом 1,2 л, з частотою обертання помольної камери 120 об/хв і діаметром куль 19 мм. Час помелу у всіх дослідах був постійним і дорівнював 25 хв. Порівняння результатів здійснювали із зразками, не підданими обробці розчинами ПАР (табл. 2).

Після подрібнення залізистих кварцитів в кульовому млині вміст помольної камери піддавали поділу на фракції 0,5; +0,315; -0,315 мм за допомогою сит.

**Таблиця 2. Результати досліджень впливу середовища на процес подрібнення залізистих кварцитів в кульовому млині**

| Середовище |                  | Процентний вміст фракції |        |        |
|------------|------------------|--------------------------|--------|--------|
| Назва      | Вміст добавки, % | +0,5                     | +0,315 | -0,315 |
| Вода       | -                | 55,545                   | 5,080  | 39,375 |
| Вода       | Алкілфенол 0,001 | 39,910                   | 5,395  | 54,695 |
| Вода       | Алкілфенол 0,005 | 39,625                   | 5,235  | 55,140 |
| Вода       | Алкілфенол 0,01  | 38,255                   | 4,270  | 57,475 |



З даних табл. 2 випливає, що обробка залізистих кварцитів водними розчинами алкілфенолів забезпечує підвищення ефективності диспергування в кульовому млині.

Для проведення досліджень впливу середовища на подрібнення залізистих кварцитів в лабораторному ексцентриковому млині готували навіски масою 300 г, попередньо подрібнені до розмірів 1 – 2 см, які замочували у водному розчині алкілфенолу протягом 2 годин.

Результати досліджень впливу обробки залізистих кварцитів водними розчинами на ефективність помелу в ексцентриковому млині наведені в табл. 3.

Таблиця 3. Результати досліджень впливу середовища на процес подрібнення залізистих кварцитів в ексцентриковому млині

| Середовище |                  | Процентний вміст фракції |        |        |
|------------|------------------|--------------------------|--------|--------|
| Назва      | Вміст добавки, % | +0,5                     | +0,315 | -0,315 |
| Вода       | -                | 71,29                    | 6,57   | 22,50  |
| Вода       | Алкілфенол 0,001 | 70,36                    | 7,37   | 22,27  |
| Вода       | Алкілфенол 0,005 | 68,92                    | 7,22   | 23,86  |
| Вода       | Алкілфенол 0,01  | 68,59                    | 6,80   | 24,61  |

Виробничі випробування впливу 0,5% водного розчину поверхнево-активної речовини на технологічний процес помелу шлаку були проведені на газоструминних млинах. Обробка шлаку розчином ПАР проводилася при завантаженні сировини в приймальний бункер млина.

Результати проведених досліджень показали, що обробка шлаку розчином ПАР перед його подрібненням дозволяє підвищити продуктивність млина на 15,7%.

Аналіз механізмів руйнування порід при спорудженні свердловин дає підставу вважати, що в їх основі лежать хвильові процеси.

Під дією робочого інструмента в гірській породі виникають зсувні напруження, що призводять до генерування пружних хвиль. У міру поширення хвилі частина енергії витрачається на здійснення роботи руйнування, а інша її частина, змінюючи напрямок руху, розсіюється в масиві.

До параметрів хвилі, що визначають процес руйнування, слід віднести напругу, інтенсивність, тривалість і спектральний склад. Поширення пружної хвилі в гірській породі характеризується безперервним поглинанням енергії середовищем і явищем дисперсії.

Представляє інтерес подання взаємопов'язаного викладу фрагментів теорії хвильових взаємодій в неоднорідних середовищах, які є предметом досліджень різних розділів фізики. У ряді випадків математичні моделі виявляються досить схожими, тобто матеріал легко класифікується за типами математичних задач і методів, використовуваних для їх вирішення.

В роботі [15] вперше зроблена спроба провести розрахунок оптимального режиму руйнування гірських порід при наявності в них тріщин і непродуктивних втрат енергії у міру поширення хвилі в масиві.

Процес поглинання енергії хвилі складний і включає в себе цілий ряд явищ, що призводять до перетворення енергії пружної хвилі на тепло. Спад енергії хвилі за рахунок здійснення роботи залежить від міцності породи і може бути охарактеризований енергопоглинанням або коефіцієнтом поглинання, що визначає первинний стан породи.

Механізм поглинання енергії породою в значній мірі визначає характер процесу руйнування. Якщо поглинання велике, то навіть при короткочасних навантаженнях процес може вважатися квазістатичним. Якщо ж поглинання енергії мале, то і порівняно тривалі навантаження призводять до динамічного режиму руйнування. Процес руйнування гірських порід досить енергоємний; чим більше поглинається енергії для здійснення роботи руйнування, тим інтенсивніше він протікає.

Для кожної форми хвилі є оптимальна тривалість, для якої може бути знайдена ширина зони руйнування, що визначається лише енергією хвилі та відповідає найбільшим значенням обсягу зруйнованої породи і коефіцієнту корисної дії.

При впливі інструменту на породу остання в свою чергу впливає на інструмент, генеруючи в ньому хвилі стиснення-розтягування, які призводять до накопичення втомних напружень в інструменті і виходу його з ладу. Збільшення довговічності інструменту може бути досягнуто за рахунок підвищення його питомої енергоємності руйнування, зменшення коефіцієнта поглинання, зменшення непродуктивних втрат, що переводять енергію хвилі в тепло, збільшення відведення енергії з інструменту в породу.

Процес поглинання енергії при руйнуванні гірських порід може бути описаний рівнянням [16]

$$dI = -[\alpha I + \chi(I - I_r)^n] dx, \quad (6)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт розсіювання пружної хвилі.

Величина показника ступеня  $n$  для неоднакових порід може бути різною, так само, як і величина межі витривалості.

Інтенсивність хвилі може спадати за рахунок дисипативних втрат, розсіювання енергії і роботи руйнування, що дає підставу прийняти допущення, що перший член рівняння (6) пропорційний непродуктивним втратам, а другий характеризує роботу руйнування

$$dI_2 = \chi(I - I_2)^n. \quad (7)$$

Однак, якщо дисипативні втрати входять і в другий член, то вони можуть бути враховані виразом

$$\chi_{полн} = \chi + \theta, \quad (8)$$

де  $\theta$  – робота руйнування.

Для визначення роботи руйнування ( $\theta$ ) необхідно вирішити диференціальне рівняння

$$I' + \alpha I + \chi(I + I_2)^n = 0. \quad (9)$$

Зробимо заміну змінних

$$I_1 = I - I_2, \quad (10)$$

де  $I_2$  – порогове значення інтенсивності.

Тоді

$$I_1' + \alpha I_1 + \chi I_1^n = 0. \quad (11)$$

При  $n = 1$ ,  $n = 2$  задача вирішена в роботі [15]. У запропонованій роботі дано загальний підхід до вирішення хвильового рівняння (9), який придатний для будь-яких  $n$ .

Зауважимо, що  $\alpha$ ,  $\chi$  і  $I_2$  не залежать від  $x$ . При  $n = 1$  рівняння (11) є лінійним і рівнянням з роздільними перемінними

$$\frac{dI_1}{(\alpha + \chi)I_1 + \alpha I_2} = -dx. \quad (12)$$

При  $n = 2$  (11) є не тільки рівнянням Рікати, але і рівнянням з роздільними перемінними

$$\frac{dI_1}{I_1 + \chi I_1^2 + \alpha I_r} = -dx; \quad (13)$$

при  $n = 3$

$$\frac{dI_1}{I_1 + \chi I_1^3 + \alpha I_r} = -dx; \quad (14)$$

при  $n = 4$

$$\frac{dI_1}{I_1 + \chi I_1^4 + \alpha I_r} = -dx. \quad (15)$$

У загальному випадку

$$\frac{dI_1}{I_1 + \chi I_1^n + \alpha I_r} = -dx. \quad (16)$$

У випадках  $n = 3, n = 4$  можливо вичерпне аналітичне дослідження.

Розглянемо поширення плоских хвиль в неоднорідній півплощині. Гірничий масив будемо моделювати ізотропним тілом, пружні модулі якого  $\lambda$  і  $\mu$  залежать від однієї координати  $x$ ; тоді рівняння руху зводиться до виду

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial}{\partial x} \ln(\lambda + 2\mu) = \frac{\rho(x)}{\lambda(x) + 2\mu(x)} \frac{\partial^2 U}{\partial t^2}, \quad (17)$$

при цьому масові сили відсутні, а під  $u$  розуміється переміщення.

Таким чином, якщо площинна хвиля виникає від миттєвої нормальної напруги  $\sigma_{xx}$ , інтенсивності  $f(t)$  до поверхні  $x = 0$  пружної півплощини, то задача про розповсюдження площинної хвилі в неоднорідному середовищі зводиться до розв'язання диференціального рівняння (17).

### Висновки

1. У представленій статті комплексно і послідовно розглянуті особливості циркуляційних та їх супроводжуючих процесів, що мають місце при спорудженні свердловин, а також їх основні фізико-хімічні аспекти; в якості пріоритетного напрямку розвитку технології спорудження свердловин обрані методики визначення рецептур високоякісних промивних рідин і проектування досконалої технології їх застосування в поєднанні з сучасним обладнанням і інструментом.

2. Досліджені в статті питання: впливу параметрів очисного агента на свердловинні процеси руйнування порід та стійкості стовбура відповідної гірської виробки; взаємозв'язку між фізико-геометричними характеристиками продуктів дисперсної фази бурових розчинів і циркуляційними процесами на вибої і в стовбурі свердловини, пов'язані з різноманітністю геолого-технічних факторів – є необхідною базою створення раціональної гідравлічної програми промивання бурових свердловин.

3. Детальним аналізом конкретних теоретичних і прикладних робіт та проведенням ґрунтовних досліджень показана перспективність вивчення ролі дисперсних систем на водній основі як учасників процесу руйнування, в багатьох випадках також контролюючих міцність і термін служби відповідних матеріалів.

4. В світлі запропонованих у статті методичних підходів, особливий інтерес представляють подальші ґрунтовні дослідження та пояснення моделей впливу робочих середовищ на водній основі на процес руйнування (диспергування) і міцність твердих тіл.

**О.М. Davydenko, V.O. Rastsvietaiev, O.O. Dmytruk, V.Ye. Koroviaka**

*Dnipro University of Technology*

#### **FEATURES OF SOME INTERACTIONS ACCOMPANYING CIRCULATION PROCESSES IN BOREHOLES**

*Purpose of the article was investigation of the essence of the key physical, chemical and mechanical processes occurring during the performance of the main downhole and auxiliary operations of the drilling cycle, as well as determination of the content and sequence of implementation of specific technological measures of the hydraulic program for flushing wells on the specified basis.*

*Methods – determination of the content of the problem, preparation and formalization of the calculation scheme of the investigated object development of physicochemical and mechanical models describing the nature of the corresponding technological processes; the choice of a method for solving the assigned tasks; solving the basic mathematical dependencies of the process with the maximum use of a computational experiment; analysis of the results obtained; formulation of adequate conclusions and recommendations.*

*The conducted studies have consistently analyzed the effect of the parameters of the cleaning agent on the downhole processes of rock destruction and maintaining the stability of the wellbore walls. The presence of a relationship between the physical, geometric and mechanical characteristics of the products of destruction and the dispersed phase of drilling fluids, as well as circulation borehole and auxiliary processes of the implementation of the hydraulic program for flushing the well, which are directly dependent on the variety of geological and technical factors, is shown. Experimental and theoretical studies of the kinetics of crushing of rocks (components of a complex drilling mud) have been carried out, taking into account the influence of the working environment on this process. Laboratory studies of the influence of the environment, which includes substances that are selectively chemisorbed at the interface, on the process of destruction of materials in ball, gas-jet and vibration grinders have been carried out. Analysis of the mechanisms of destruction of rocks during well drilling showed that they are based on wave processes, which are influenced by flushing fluids.*

*Selective chemisorption of substances from the composition of flushing and auxiliary process fluids on the surface of rocks is the main regulator of the influence on the corresponding processes in the implementation of individual operations of the well construction cycle; the choice of substances that are selectively chemisorbed from the composition of liquids must be carried out under the condition that the ionization potentials of the adsorbent and adsorbate are equal.*

*For the conditions of construction of wells for various purposes, further development of the provisions of the mechanics of destruction of rocks and the physical chemistry of surface phenomena is proposed, in particular, the mechanism of the processes occurring at the boundaries of the "rock – process fluid" interface is specified; a correlation has been established between the acting factors and the properties of rocks; a scientifically substantiated technique for the selection of surfactants to regulate the properties of the corresponding fluids is proposed; a scientific forecast for the application of the results of work in other industries is provided.*

**Key words:** *well, surfactant, circulation, rock, adsorption, drilling mud, dispersed phase, destruction.*

**А.Н. Давиденко, В.А. Расцветаев, Е.А. Дмитрук, В.Е. Коровяка**

*Национальный технический университет «Днепро́вская политехника»*

#### **ОСОБЕННОСТИ НЕКОТОРЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ, СОПРОВОЖДАЮЩИХ ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В БУРОВЫХ СКВАЖИНАХ**

*Цель работы – исследование сущности ключевых физико-химических и механических процессов, протекающих при выполнении основных скважинных и вспомогательных операций*

бурового цикла, и определение на их основе содержания и последовательности выполнения конкретных технологических мероприятий гидравлической программы промывки скважин.

Методика – определение содержания задачи, составление и формализация расчетной схемы исследуемого объекта; разработка физико-химической и механической моделей, описывающих характер соответствующих технологических процессов; выбор способа решения поставленных задач; решение основных математических зависимостей процесса с максимальным использованием вычислительного эксперимента; анализ полученных результатов; формулировка адекватных выводов и рекомендаций.

Проведенными исследованиями последовательно проанализировано влияние параметров очистного агента на забойные процессы разрушения пород и поддержания устойчивости стенок ствола скважины. Показано наличие взаимосвязи между физико-геометрическими и механическими характеристиками продуктов разрушения и дисперсной фазы буровых растворов, а также циркуляционными скважинными и вспомогательными процессами реализации гидравлической программы промывки скважины, которые находятся в прямой зависимости от многообразия геолого-технических факторов. Осуществлены экспериментально-теоретические исследования кинетики измельчения горных пород (компонентов сложного бурового раствора), с учетом влияния на этот процесс рабочей среды. Проведены лабораторные исследования влияния среды, в состав которой входят вещества, избирательно хемосорбирующиеся в поверхности раздела фаз, на процесс разрушения материалов в шаровом, газоструйном и вибрационном измельчителях. Анализ механизмов разрушения горных пород при бурении скважин показал, что в их основе лежат волновые процессы, воздействие на которые имеют промывочные жидкости.

Избирательная хемосорбция веществ из состава промывочных и вспомогательных технологических жидкостей на поверхности горных пород является основным регулятором влияния на соответствующие процессы при реализации отдельных операций цикла сооружения скважин; выбор веществ, избирательно хемосорбирующихся из состава жидкостей, необходимо осуществлять при условии равенства потенциалов ионизации адсорбента и адсорбата.

Для условий строительства скважин различного назначения предложено дальнейшее развитие положений механики разрушения горных пород и физикохимии поверхностных явлений, в частности, уточнен механизм процессов, происходящих на границах раздела «горная порода – технологическая жидкость»; установлена корреляционная связь между действующими факторами и свойствами горных пород; предложена научно обоснованная методика выбора поверхностно-активных веществ для регулирования свойств соответствующих жидкостей; предоставлен научный прогноз применения результатов работы в других отраслях промышленности.

**Ключевые слова:** скважина, поверхностно-активное вещество, циркуляция, горная порода, адсорбция, буровой раствор, дисперсная фаза, разрушение.

### Література

1. Hossain M.E., Islam, M.R. Drilling engineering: problems and solutions. – Wiley–Scrivener Publishing, 2018. – 627 p.
2. Вадецкий Ю.В. Бурение нефтяных и газовых скважин. – М.: Академия, 2011. – 352 с.
3. Давиденко А.Н., Игнатов А.А., Полищук П.П. Транспортировка продуктов разрушения при бурении скважин. – Днепр: Национальный горный университет, 2016. – 116 с.
4. Войтенко В., Вітрик В. Технологія і техніка буріння. – К.: Центр Європи, 2012. – 708 с.
5. Hossain M.E. (2016). Fundamentals of drilling engineering. – Wiley & Sons, Incorporated, John, 2016. – 736 p.
6. Lopez J.C., Lopez J. E., Javier F. Drilling and blasting of rocks. – CRC Press Taylor & Francis, 2017. – 408 p.
7. Ihnatov A.O., Koroviaka, Ye.A., Pinka, J., Rastsvietaiev V.O., Dmytruk O. O. Geological and mining-engineering peculiarities of implementation of hydromechanical drilling

- principles // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu.* – 2021. – V. 1. – P. 11–18.
8. Давиденко А.Н., Игнатов А.А. Абразивно-механическое ударное бурение скважин. – Дніпропетровськ: Держ. вищ. навч. закл. «Нац. гірн. ун-т», 2013. – 110 с.
  9. Давиденко А.Н., Ратов Б.Т., Пащенко А.А., Игнатов А.А. Влияние гидростатического давления на ударное абразивно-механическое бурение скважин. – Алматы: Каспийский общественный университет, 2018. – 171 с.
  10. Curry G.L., Feldman R.M. Manufacturing systems. Modeling and analysis. – Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2012. – 338 p.
  11. Игнатов А.О. До питання визначення вибійних робочих характеристик пристроїв гідромеханічного буріння // *Інструментальне матеріалознавство: зб. наук. пр.* – Вип. 23. – Київ: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2020. — С. 78 – 88.
  12. Ковальчук Є.П., Решетняк О.В. Фізична хімія. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. – 800 с.
  13. Тарасевич Ю.И., Овчаренко Ф.Д. Адсорбция на глинистых минералах. – Киев: Наукова думка, 1975. – 351 с.
  14. Черепанов Г.П. Механика разрушения горных пород в процессе бурения. – Москва: Недра, 1987. – 308 с.
  15. Нечаев Е.А. Федосеев И.Ф., Звонарева Т.В. О роли электронного фактора при адсорбции ПАВ из водных растворов на окислах // *Журнал коллоидной химии.* – 1982. – Т. 44, № 6 – С. 1188–1189.
  16. Лопаткин А.А. Теоретические основы физической адсорбции. – Москва: Изд-во МГУ, 1983. – 74 с.

Надійшла 16.07.21

### References

1. Hossain, M.E., & Islam, M.R. (2018). *Drilling engineering: problems and solutions*. Wiley–Scrivener Publishing.
2. Vadetskiy, Yu.V. (2011). *Burenie neftyanyih i gazovyih skvazhin [Oil and gas well drilling]*. – Moscow: Akademiia [in Russian].
3. Davydenko, A.N., Ihnatov A.A., & Polyshchuk, P.P. (2016). *Transportirovka produktov razrusheniya pri burenii skvazhin [Transporting of rock destruction at well drilling]*. – Dnipropetrovsk: Derzh. vyshch. navch. zakl. «Nats. hirn. un-t» [in Russian].
4. Voitenko, V., & Vitryk, V. (2012). *Tekhnolohiia i tekhnika burinnia [Technology and technique of the drilling]*. – Kyiv: Tsentri Yevropy [in Ukrainian].
5. Hossain, M.E. (2016). *Fundamentals of drilling engineering*. Wiley & Sons, Incorporated, John.
6. Lopez, J.C., Lopez, J. E., & Javier, F. (2017). *Drilling and blasting of rocks*. CRC Press Taylor & Francis.
7. Ihnatov, A.O., Koroviaka, Ye.A., Pinka, J., et al. (2021). Geological and mining-engineering peculiarities of implementation of hydromechanical drilling principles. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 1, 11–18.
8. 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].
9. Davidenko, A.N., Ratov, B.T., Pashchenko, A.A., Ihnatov, A.A. (2018). *Vliyanie gidrostaticheskogo davleniya na udarnoe abrazivno-mehanicheskoe burenie skvazhin [Influence of hydrostatical pressure on percussion abrasive mechanical well drilling]*. – Almaty: Kaspiiskii obschestvennyi universitet [in Russian].

10. Curry, G.L. & Feldman, R.M. (2012). *Manufacturing systems. Modeling and analysis*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
11. Ihnatov, A.O. (2020). Do pytannia vyznachennia vybiinykh robochykh kharakterystyk prystroiv hidromekhanichnoho burinnia [To the question into determination of coalface working descriptions devices of the hydromechanics drilling]. *Instrumentalne materialoznavstvo - Tooling materials science*, 23, 78 – 88 [in Ukrainian].
12. Kovalchuk, Ye.P., & Reshetniak O.V. (2007). *Fizychna khimiia [Physical chemistry]*. – Lviv: Vydavnychiy tsentr LNU imeni Ivana Franka [in Ukrainian].
13. Tarasevich, Yu.I., & Ovcharenko F.D. (1975). *Adsorbtsiya na hlinistykh mineralakh [Adsorption on clay minerals]*. – Kiev: Naukova dumka [in Russian].
14. Cherepanov, G.P. (1987). *Mehanika razrusheniya gorniyh porod v protsesse bureniya [Mechanics of destruction rock in the process of the well drilling]*. – Moscow: Nedra [in Russian].
15. Nechaev, E.A., Fedoseev, I.F., & Zvonareva, T.V. (1982). O roli elektronogo faktora pri adsorbtsii PAV iz vodnyih rastvorov na okislakh [On the role of the electron factor in the adsorption of surfactants from aqueous solutions on oxides]. *Zhurnal kolloidnoi himii – Colloid Chemistry Journal*, 44, 6, 1188–1189 [in Russian].
16. Lopatkin, A.A. (1983). *Teoreticheskie osnovy fizicheskoi adsorbtsii [Theoretical Foundations of Physical Adsorption]*. – Moscow: Izdatelstvo MGU [in Russian].

УДК 622.243.95

DOI: 10.33839/2708-731X-24-1-76-87

**А.О. Ігнатів**, канд. техн. наук

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,  
пр. Дмитра Яворницького, 19, 49027, м. Дніпро, Україна, e-mail: A\_3000@i.ua*

## **ВСТАНОВЛЕННЯ БАЗОВИХ ПРИНЦИПІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ОКРЕМИХ ВУЗЛІВ ПРИСТРОЇВ ГІДРО(ПНЕВМО)МЕХАНІЧНОГО БУРІННЯ**

*Був проведений детальний розгляд існуючих та аналітико-лабораторне обґрунтування інноваційних конструктивних рішень в окремих вузлах модернізованих гідро(пневмо)механічних пристроїв і визначення на їх основі раціональних режимно-технологічних програм роботи останніх у конкретних геолого-технічних умовах споруджування свердловин різного призначення.*

*Експериментальні й теоретичні дослідження елементарного акту руйнування гірських порід значної твердості (з урахуванням багатофакторності дії супутніх техніко-технологічних чинників) виконані із застосуванням сучасних методів аналітичного аналізу й досліджень, зокрема шляхом використання методів математичного й фізичного моделювання, методик моделювання та обробки результатів досліджень у середовищі SolidWorks, STATGRAPHICS, MATHCAD, контрольно-вимірних приладів і матеріалів.*

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

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

*Сформульовано базові напрямки вдосконалення принципів та схем реалізації свердловинних технологій на прикладі гідро(пневмо)механічного буріння. Розглянуто засадничі конструктивні характеристики модернізованого інноваційного пневмомеханічного пристрою для буріння свердловин різного призначення, який комбінує в собі найбільш продуктивні й ефективні методи дії на порідний масив. Визначено та досліджено низку впливових техніко-технологічних й режимних факторів,*