

STUDYING THE FEATURES OF THE MECHANICS OF THE OPERATION OF A SPECIAL ROCK CUTTING TOOL

*Ye. Koroviaka**, A. Ihnatov, O. Davydenko, O. Dmytruk, M. Mekshun & I. Askerov
Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

*Corresponding author: koroviaka.ye.a@nmu.one

Abstract. The main tendencies of the current stage of development of the drilling business, in particular in the context of the creation of innovative designs of rock cutting tools and the modernization of existing ones, are noted. Comparative characteristics between polycrystalline (PDC type) and roller cone bits are given and their mutual advantages and disadvantages are shown. The essence of the method of destruction of a rock mass using the energy of liquid jets is briefly described. The main fundamental differences in the design of disk bits and their chain modification are considered. For the latter, the conceptual provisions of the theory of mechanical interaction with the borehole bottom are formulated. An exhaustive description of high-tech drill bit supports is provided, which are structurally based on the principles of using a hydrostatic floating sleeve bearing. The layout diagrams of a device for intensifying bottomhole destructive processes are proposed, the basis of which is the creation of the cavitation effect, which contributes to a significant decrease in the strength of the rock mass. An additional intensifier of destructive processes can also act as hydrodynamic drilling shells, in the design of which a Venturi tube is used. The basic principles of the hydromechanical ball-jet drilling method based on the use of the energy of balls moving at high speed are formulated. The design features of a special rock-cutting matrix of a ball-jet hydromechanical tool, which is the main organ for the formation of a rectangular profile of the well bottom, have been determined.

Keywords: drill bit, rock, support, bearing, bottomhole, hydromechanical drilling, ball jet, cavitation, destruction mechanism, rock breaking matrix.

ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ МЕХАНІКИ РОБОТИ СПЕЦІАЛЬНОГО ПОРОДОРУЙНІВНОГО ІНСТРУМЕНТУ

*Є. Коров'яка**, А. Ігнатів, О. Давиденко, О. Дмитрук, М. Мекшун & І. Аскеров
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

*Відповідальний автор: koroviaka.ye.a@nmu.one

Анотація. Відмічено основні тенденції сучасного етапу розвитку бурової справи, зокрема в розрізі створення інноваційних конструкцій породоруйнівного інструменту та модернізації вже існуючих. Наведено порівняльну характеристику між полікристалічними (типу PDC) й шарошковими долотами та показано їх взаємні переваги і недоліки. Коротко описано сутність способу руйнування гірського масиву, що використовує енергію струменів рідини. Розглянуто основні принципові відмінності конструкції дискових доліт та їх ланцюгової модифікації. Для останньої сформульовано концептуальні положення теорії механічної взаємодії із вибоєм свердловини. Надано вичерпну характеристику високотехнологічним опорам бурових доліт, що конструктивно ґрунтується на принципах використання гідростатичного плаваючого вкладиша підшипника ковзання. Запропоновано компоувальну схему пристрою для інтенсифікації вибійних руйнівних процесів, основою роботи якої є створення ефекту кавітації, що сприяє істотному зниженню міцності гірського масиву. Додатковим інтенсифікатором руйнівних процесів також можуть виступати гідродинамічні бурові снаряди, в конструкціях яких використана трубка Вентурі. Сформульовано засадничі принципи гідромеханічного кулеструминного способу буріння, що ґрунтується на використанні енергії куль, які рухаються із великою швидкістю. Визначено особливості

конструкції спеціальної породоруйнівної матриці кулеструминного гідромеханічного снаряду, що є основним органом формування прямокутного профілю вибою свердловини.

Ключові слова: долото, гірська порода, опора, підшипник, вибій свердловини, гідромеханічне буріння, кулеструминний прилад, кавітація, механізм руйнування, породоруйнівна матриця.

1. Вступ

Не потребує ніяких доказів таке відоме твердження: ефективність розробки нафтових, газових та газоконденсатних родовищ ґрунтується на володінні відомостями про геометричні розміри (площа та потужність) продуктивних пластів в умовах залягання, детальними даними про їх структуру, колекторські властивості та ступінь нафтогазонасичення і нафтогазовилучення. Проте отримання таких вичерпних відомостей неодмінно пов'язано із необхідністю спорудження складного інженерного об'єкту – свердловини [1].

Спорудження свердловин будь якого призначення відноситься до високотехнологічних і витратних процесів, які здійснюються за допомогою специфічних техніки і технологій. Підвищення ефективності буріння вимагає удосконалення існуючих, розробки та впровадження інноваційних технологій, застосування високопродуктивних бурових установок, обладнання та інструменту [2].

Фактичний матеріал беззаперечно свідчить, що переважний об'єм бурових робіт, незважаючи на велику кількість альтернативних способів, виконується все ж механічним руйнуванням породи вибою свердловини за допомогою доліт і до недавнього часу, в переважній більшості випадків – шарошкових. Разом з тим, останніми роками спостерігається стійка тенденція постійного збільшення об'ємів буріння із застосуванням доліт з озброєнням у вигляді спеціальних алмазотвердосплавних пластин (як назва алмазотвердосплавним долотам, широко використовується аббревіатура PDC, що є першими буквами англійської назви матеріалу різців – «полікристалічна алмазна композиція»), однак існує доволі значне протиріччя між показниками роботи останніх у породах м'яких, пластичних і породах пластичнокрихких середньої твердості та твердих, що пов'язано із інтенсивним зношуванням озброєння.

Долота PDC, як і долота оснащені зерновими алмазами та імпрегновані, складаються з голівки і перевідника з приєднувальною різьбою. Голівка долота може бути лопатевою або корпусною. Долота типу PDC відносяться до технологічно нового покоління доліт, різальні лопаті яких посилені полікристалічними алмазними різцями. Вони руйнують породу стираюче-різальною дією на відміну від руйнування породи шарошковими долотами дробляче-сколюючого типу. Нині курс розвитку виробництва PDC доліт спрямований на їх адаптацію до умов використання в гірських породах середніх і вище середніх за твердістю. Виробники доліт, армованих пластинами PDC, пропонують різні конструктивні рішення, основне призначення яких – зниження рівня вібрації на долоті [3].

Долота PDC відрізняються високою вартістю, що робить дуже насущним питання правильного вибору сфери їх застосування. Саме тому за незначного ступеню вивченості геолого-технічних умов проведення проектних свердловин, раціонально й технологічно-виправдано приймати в якості породоруйнівного інструменту все ж шарошкові долота.

Практика бурових робіт свідчить, що одним з найважливіших елементів шарошкових доліт, від працездатності якого багато в чому залежить довговічність і ефективність роботи інструменту в цілому, є підшипниковий, того або іншого конструктивного виконання, (опорний) вузол.

Головним недоліком усіх механічних способів руйнування гірських порід при бурінні є швидкий знос різців коронок, зубів доліт і інших стираючих матеріалів навіть при їх виготовленні з надтвердих сплавів. Крім того, на власне руйнування породи витрачається не більше 8 - 10% від усієї енергії, що підводиться до вибою, іншими словами – коефіцієнт корисної дії механічного руйнування досить низький [4].

Серед численних нових нетрадиційних способів руйнування гірських порід і буріння свердловин, що відрізняються від класичного механічного способу, усе більше поширення отримує буріння з використанням високонапірних струменів рідини; до теперішнього часу при бурінні цим способом були отримані обнадійливі результати. Дія високонапірних струменів аналогічно дії інструменту для механічного руйнування гірських порід: вони дезінтегрують породу, на яку впливають шляхом створення в ній напруги, що перевищує опір породи розтягуванню або зрушенню [5]. Цей спосіб вже застосовується в гірничому виробництві при розробці вугільних пластів, будівництві тунелів, розколюванні блоків породи в кар'єрах, руйнуванні бетону, перфоруванні обсадних колон тощо.

Метою статті є неупереджений аналіз чинників конструктивного вибору та обґрунтування ефективних схем оформлення окремих робочих вузлів бурових доліт, що забезпечують сталість процесу поглиблення вибою свердловини з високою мірою продуктивності і економічності, а також розгляд найважливіших аспектів гідромеханічного способу спорудження свердловин з вивченням основних факторів вибійних руйнівних процесів, обумовлених конструктивним виконанням технологічного інструменту.

2. Методика

Вивчення особливостей функціонування окремих модернізованих вузлів породоруйнівного інструменту (у вигляді бурових доліт), було виконано із застосуванням сучасних методів аналітичного аналізу й експериментальних досліджень, зокрема шляхом використання методів математичного й фізичного моделювання, методик моделювання та обробки результатів досліджень у середовищі SolidWorks, STATGRAPHICS, MATHCAD, контрольно-вимірювальних приладів і матеріалів [6]. Процес розв'язання задач оптимального планування експерименту поділявся на такі етапи: складання моделі, що планувалась; підготовка необхідних вихідних даних; розрахунок моделі; отримання результатів. Протікання свердловинних породоруйнівних процесів за гідромеханічного буріння моделювалось на спеціальному лабораторному стенді, обладнаному контрольно-вимірювальним блоком (витратомір, манометр, тахометр, координатник).

3. Результати та обговорення

Для вирішення завдання збільшення терміну роботи шарошкових доліт, слабким механізмом яких є опорний підшипник, були запропоновані конструкції, в декількох модифікаціях, дискових доліт. Останні містять лапи та два змонтованих на вісі за допомогою підшипника кочення диски, які зміщені по відношенню один до одного. Поверхня дисків оснащена твердосплавними зубками. Проте головним недоліком такого долота є недостатньо велика робоча поверхня дисків, що істотно впливає на час роботи розглядуваного породоруйнівного інструменту на вибої свердловини [7].

Саме зазначений недолік та інші конструктивні й технологічні вади послугували поштовхом для розробки фахівцями кафедри нафтогазової інженерії та буріння Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» оригінальної конструкції бурового долота, в якому інше конструктивне виконання робочого органу забезпечує: переривчастий контакт породоруйнуючих елементів з гірською породою при одночасному збільшенні робочої поверхні; більш повне перекриття вибою свердловини; більш ефективний механізм руйнування порід, а саме, сколювання; подовження строку дії долота на вибої; все перелічене створює умови для інтенсифікації ведення робіт і за рахунок цього сприяє підвищенню проходки на долото, механічної і рейсової швидкості, зниженню потужності, що затрачується на буріння [8].

Поставлене завдання вирішується тим, що бурове долото, яке включає диски на ексцентричній вісі, закріпленій нерухомо в нижній частині лап, має дві пари допоміжних дисків різних діаметрів на спільній допоміжній вісі, яка закріплена нерухомо відповідно над дисками в верхній частині лап, причому перший та четвертий допоміжні диски мають більший, але однаковий зовнішній діаметр у порівнянні з другим та третім, рівними за

зовнішнім діаметром, допоміжними дисками; а також – зубчаті ланцюги, що є руйнівними елементами, і з'єднують відповідно допоміжні верхні та диски у нижній частині лап, притому диски та допоміжні диски посаджено на вісі зі змогою обертання. При вторгненні долота в гірську породу ланцюги, на зовнішній поверхні яких розташовані зубки, здійснюють руйнування породи. Ланцюги кінематично пов'язані з дисками та двома парами допоміжних дисків, які насаджені на вісь та допоміжну вісь за допомогою двох'ярусних підшипників кочення.

Завдяки збільшенню робочої поверхні долота (за рахунок наявності ланцюга з зубками) значно підвищується проходка на долото. В процесі роботи через нерівномірність руху ланцюгів, що пов'язано з їх різними довжинами, створюються кращі умови руйнування породи на вибої за рахунок сколювання.

Опори шарошок – найбільш відповідальні вузли шарошкового долота, стійкість яких найчастіше визначає довговічність долота в цілому. Опора шарошкових бурових доліт в процесі обертання шарошки забезпечує передачу осьового навантаження у такому порядку: навантаження від бурильної колони через цапфи і тіла кочення передається озброєнню шарошки, що знаходиться в контакті з гірською породою вибою свердловини.

У зв'язку з позначеними умовами на кафедрі нафтогазової інженерії та буріння НТУ «Дніпровська політехніка» було поставлено завдання удосконалення та модернізації систем опор шарошкових доліт з максимальним урахуванням особливостей роботи доліт у вибійних умовах, результатом чого стало запропоноване технічне рішення зі створення опори долота за принципом гідростатичного плаваючого вкладиша підшипника ковзання [9].

Запропонована конструкція долота вимагає наявності в системі його опор рухливості цапф, на яких змонтовані породоруйнівні елементи. Їх вертикальна рухливість реалізована за рахунок наявності в опорах багатокамерних маслогазонаповнених вкладишів, і проходить за наступною схемою. Вертикальне переміщення робочих елементів вгору викликає певне скорочення об'ємів нижньої порожнини і збільшення верхньої. Відповідно до вказаного, в нижній порожнині газу в масляному середовищі розчиняються, а у верхній – виділяються, що сприяє безперешкодному переміщенню робочих елементів вгору. Коефіцієнт стискування середовища, що заповнює порожнини вкладишів підшипників ковзання повинен в обов'язковому порядку корелюватися з механічними характеристиками – твердістю або категорією за буримістю порід. Вказані характеристики можуть бути визначені за ДСТУ 12288 або методом ЦНДГРІ. Процеси, що відбуваються в порожнинах вкладишів, є оборотними. Такий механізм саморегулювання дозволяє розбурювати тверді прошарки шарошками, оснащеними необхідним озброєнням.

При виборі робочого середовища необхідно враховувати: його в'язкість, діапазон робочих температур і тисків, допустиму тривалість експлуатації, вартість робочого середовища. Підбір інертних газів повинен відбуватися в строгій відповідності їх коефіцієнта розчинності в цьому робочому середовищі.

В результаті аналізу літературних джерел і проведення теоретичних і експериментальних досліджень було встановлено, що рушійними силами проникнення промивальних рідин в зону передруйнування можуть бути сили хімічної взаємодії, адсорбційні явища, а також зовнішні механічні дії (вібрації), електричні і магнітні поля [10].

Відома велика кількість робіт, присвячених різним способам дії рідких середовищ на гірській масив, серед яких на особливу увагу заслуговують роботи зі встановлення закономірностей руйнування гірських порід в результаті гідроімпульсної дії. Остання сприяє створенню в гірському масиві хвиль напруги стискування - розтягування, що призводять або до створення мережі штучних тріщин, або до глибшого проникнення рідини в пори і тріщини масиву.

Незважаючи на шкідливість кавітації при експлуатації гідромашин, вона може бути використана як корисне явище для інтенсифікації виробничих процесів [11]. Генератор кавітації, в основу роботи якого покладено явище періодичної зривної кавітації в місцевих

гідравлічних опорах, пропонується використовувати для підвищення ефективності роботи установки гідроруйнування окалини при гарячому стискуванні металу.

Алмазне, шарошкове, ударно-обертальне буріння міцних гірських порід зумовлює утворення на вибої свердловини зони передруйнування. Гідродинамічна дія на неї пульсуючими струменями, що містять поверхнево-активні речовини (ПАР), і генераторами кавітацій, сприяє знеміцненню гірської породи на вибої свердловини і підвищує продуктивність будь-якого способу буріння міцних гірських порід. На кафедрі нафтогазової інженерії та буріння НТУ «Дніпровська політехніка» розроблений спосіб буріння свердловин з використанням явища періодично зривної кавітації і снаряд для його реалізації, відмітною особливістю якого є подача на вибій промивальної рідини в режимі періодичної зривної кавітації частотою 100 - 3000 Гц при тиску подачі, що перевищує вибійний тиск в 1,25 - 10 разів.

На рис. 1 приведена конструктивна схема пристрою, що дозволяє отримати періодичну зривну кавітацію на вибої свердловини.

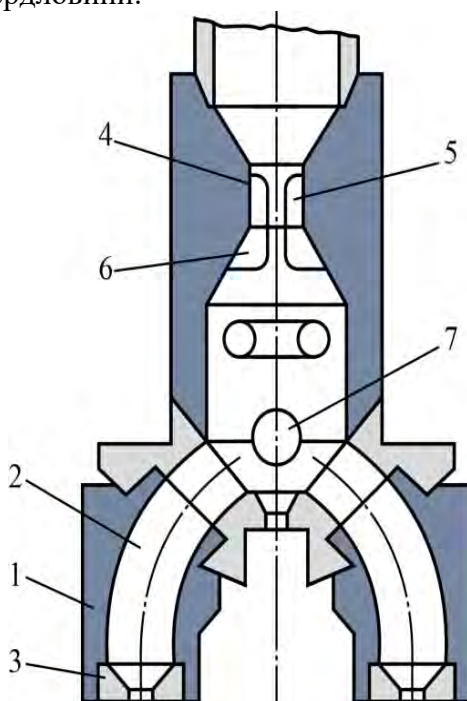


Рис. 1. Конструктивна схема пристрою, що дозволяє отримати періодичну зривну кавітацію на вибої свердловини

Пристрій для здійснення пропонованого способу буріння включає корпус 1 з промивальними каналами 2, на виході яких встановлені насадки 3, усередині корпусу розміщений перед насадками генератор 4 імпульсів тиску, виконаний у вигляді спеціальної форми каналу, на корпусі 1 закріплені породоруйнівні елементи.

Для забезпечення режиму періодичної зривної кавітації, сумарна площа вихідних перерізів насадок 3 повинна перевищувати площу мінімального (критичного) перерізу каналу генератора 4 в 1,1 - 3 рази.

В цілому пристрій працює таким чином. При бурінні свердловини промивальна рідина проходить через генератор 4 імпульсів при тиску подачі, що перевищує вибійний в 1,25 - 10 разів. При цьому в критичному перерізі генератора 4 утворюється і виходить в частину дифузора (що розширюється) каверна кавітації 5, від якої періодично відривається частина дифузора 6 каверни, яка потім відноситься потоком рідини і в зоні підвищеного тиску 7 закривається, викликаючи при цьому в рідині імпульси тисків, що значно перевищують тиск на вході. Виникаючий пульсуючий потік, що впливає на вибій свердловини, збільшує ефективність процесу руйнування гірських порід.

Також розроблений нормальний ряд гідродинамічних бурових снарядів (ГБС), в конструкції яких використана трубка Вентурі, що дозволяє отримувати явище кавітації (рис. 2).

Снаряд складається з перехідника 1 для з'єднання з бурильними трубами, шайби 2 і прокладок 3, регулюючих проміжок між перехідником 1 і випромінювачем 4, поміщеним в корпус 5. Усередині корпусу розміщена трубка постдифузора 6. Для з'єднання з породоруйнівним інструментом (колонковою трубою або шарошковим долотом) є перехідник 7. У снарядах ГБС - 8 і ГБС - 10 в нижній частині корпусу поміщені резонатори 8, що підвищують технічні характеристики снарядів, перехідники 9, 10 і 11 є змінними виробами.

Головним конструктивним параметром ГБС є діаметр критичного отвору, який залежить від величини витрати промивальної рідини і заданого тиску. Діаметр критичного отвору визначається за формулою

$$d_k = 2 \sqrt{\frac{Q}{\pi \mu \sqrt{2g\gamma(P_H - P_S)}}}, \quad (1)$$

де Q - масова витрата промивальної рідини; μ - коефіцієнт звуження струменя; P_H і P_S - тиск рідини на вході в снаряд і тиск насиченої пари; γ - густина рідини; g - прискорення сили тяжіння.

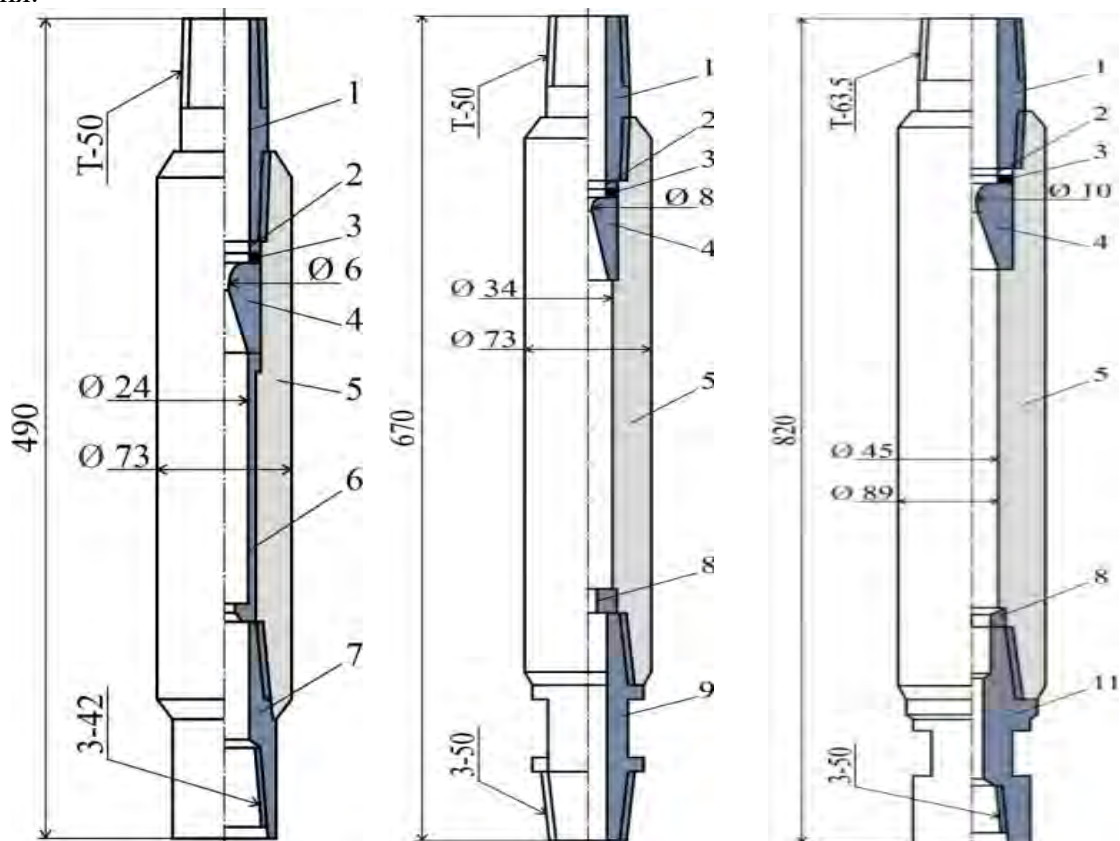


Рис. 2. Конструктивні схеми гідродинамічних бурових снарядів

Тиск на насосі при роботі ГБС

$$P = 1,3(P_H + P_1 + P_2 + P_3 + P_4), \quad (2)$$

де P_1 - втрати тиску в бурильних трубах; P_2 - втрати тиску в затрубному кільцевому просторі; P_3 - втрати тиску в з'єднаннях бурильних труб; P_4 - втрати тиску в нагнітальній лінії, колонковому снаряді та ін.

Розрахунковий тиск на вході в гідродинамічний буровий снаряд визначається як різниця величин номінального тиску насоса і втрат натиску в ланках циркуляційної системи, тобто

$$P_n = \frac{P}{1,3} - (P_1 + P_2 + P_3), \quad (3)$$

Величина тиску на вході в снаряд використовується при розрахунку діаметру критичного отвору, від якого залежать основні геометричні параметри гідродинамічного бурового снаряда.

Для забезпечення кінетичних аспектів прояву ефекту адсорбційного пониження міцності гірських порід розроблено декілька варіантів конструкцій породоруйнівного інструменту, що має новизну і корисність.

Були також проведені експериментальні дослідження високочастотних коливань в гідравлічній системі з місцевими опорами, в яких виникало явище кавітації. Дослідження проводили на спеціально обладнаному стенді при постійних значеннях тиску на вході в сопло (P_1) кавітації на режимах, що відрізняються мірою розвитку кавітації, для характеристики якої використовували критерійний параметр кавітації, що є відношенням різниці повного тиску на виході з сопла (P_2) кавітації і тиску пружності насиченої пари (P_c) до швидкісного натиску

$$\tau = \frac{P_2 - P_c}{\frac{G^2}{2g\gamma(\mu F_{кр})^2}}, \quad (4)$$

де τ - критерійний параметр кавітації; γ - густина використаної рідини; G - вагова секундна витрата рідини; μ - коефіцієнт місцевих гідравлічних опорів; $F_{кр}$ - площа перерізу місцевого гідравлічного опору в найвузжчій його частині.

Буріння свердловин здійснюється в товщах гірських породах, що знаходяться в напруженому стані всебічного стиснення, причинами якого є сили, які виникають в зв'язку з тектонічними рухами в земній корі, а також з фізико-хімічними процесами [12]. Під дією зовнішніх сил гірські породи деформуються, проявляючи пружні і пластичні властивості, і руйнуються. Якщо кубик гірської породи здавлювати рівними за величиною силами $P_x = P_y = P_z$, лінії дії яких збігаються з відповідними просторовими осями x, y, z то при будь-яких їх значеннях він не зруйнується, тому що буде перебувати в стані рівномірного всебічного стискування (рис. 3).

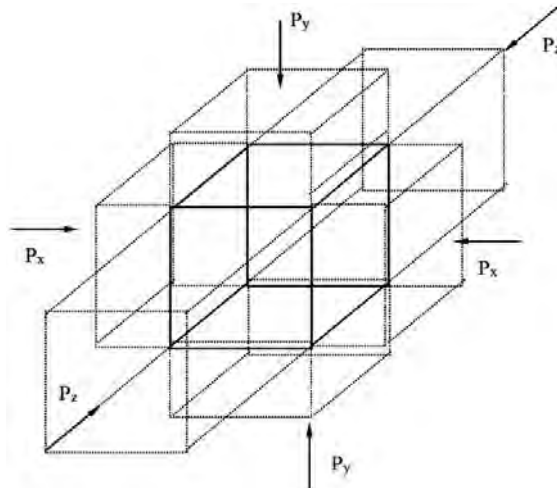


Рис. 3. Схема, що моделює умови всебічного стиснення зразка гірської породи

Зміна співвідношення між силами P_x, P_y і P_z може привести до руйнування, а напруга, при якій це може статися, в цьому випадку буде залежати від властивостей гірської породи і величини зразка. Якщо кут пружної рівноваги збігається за фізичною сутністю з кутом внутрішнього опору, то він являє собою кут, під яким може сколюватися порода під дією власної ваги, якщо немає обмежень розвитку деформацій руйнування. При двувісному стисненні межа міцності більшості гірських порід в два рази більше межі міцності при одноосьовому стисканні.

Головну частину гірських порід складають сполуки Al_2O_3 , CaO , Fe_nO_m , що утворюють різні мінерали, які в більшості своїй анізотропні, тобто механічні та теплові властивості у них в різних напрямках різні. Крім того, гірські породи містять безліч дефектів в структурі кристала – кристалічній решітці і мікротріщини різних розмірів, що пронизують кристалічні зерна, а також зосереджені на межі між ними та призводять до значного зниження реальної міцності в порівнянні з теоретичною.

В умовах бурового полігону Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» було проведене дослідне буріння з використанням гідродинамічного бурового снаряда. В результаті проведених досліджень встановлено, що застосування гідродинамічного бурового снаряда, який створює пульсації бурового агента в привибійній частині свердловини, забезпечує підвищення техніко-економічних показників буріння (зокрема механічної швидкості на 15 - 40%).

У світовій практиці для буріння гідромеханічним способом в широкому діапазоні глибин, гірничо-геологічних умов і призначень свердловин використовується значне число конструкцій приладів і пристроїв [5].

Найбільшою кількістю технічних рішень, безперечно, володіє гідромеханічний ерозійний спосіб. У зв'язку з тим, що основна спрямованість досліджень це все ж гідромеханічний абразивний спосіб, на конструкціях приладів, що його реалізують необхідно зупинитися детальніше. Починаючи з середини 50-х років минулого століття (часу виникнення і промислового впровадження кулеструминного способу) було розроблено досить велику кількість пристроїв, одні з яких були витиснені більш технологічними, інші піддані частковій або корінній модернізації. Рамки і концепція цієї роботи не дозволяють і не вимагають широкого освітлення усіх конструктивних розробок.

Використання потенційних можливостей гідромеханічного способу буріння пов'язане з вдосконаленням як самих технічних засобів, що реалізують метод, так і його технологічних прийомів. Кулеструминний гідромеханічний відноситься до тих способів буріння, в яких майже усі технологічні заходи визначаються виключно конструкцією приладу. Звідси витікає, що розробка моделі приладу повинна супроводжуватися і встановленням раціональних технологічних режимів буріння. Параметри процесу буріння встановлені для однієї конструкції приладу не можуть бути механічно перенесені на усі інші. Ця обставина істотно ускладнюється наявністю значної кількості визначальних технологію чинників (геологічних і технічних), що нерідко випускається з уваги і призводить до невірної трактування можливостей кулеструминного способу.

Висунені обмежувальні умови трансформувалися в постановку завдання удосконалення кулеструминного пристрою, в якому принципово інше конструктивне виконання механічного породоруйнівного органу і схеми буріння забезпечує: значне зменшення витрат потужності для створення навантаження на механічний породоруйнівний орган приладу, насамперед в свердловинах з інтенсивною кривизною; реалізацію обертального методу формування периферійної зони забою із застосуванням уламків куль та продуктів руйнування гірських порід; створення умов для значного підвищення інтенсивності ведення робіт; за рахунок переліченого унеможливується зупинка процесу поглиблення через наявність параболічної форми вибою свердловини та значних zenітних кутів, збільшується рейсова швидкість буріння, знижується амортизація самого приладу та бурильних труб.

Пропонується наступний варіант рішення сформульованої задачі: модернізований прилад містить гвинтовий двигун, з'єднаний з колоною бурильних труб та корпусом струминного апарата, механічний породоруйнівний орган якого виконано у вигляді матриці, верхня частина її жорстко з'єднана з корпусом струминного апарата, а нижня є пористою [10].

Пристрій працює таким чином: при виникненні циркуляції промивної рідини у внутрішній частині корпусу приладу починається активний рух породоруйнівних куль, які взаємодіють з породою вибою, руйнують її та руйнуються самі. Наявність породоруйвної матриці в нижній частині приладу необхідна для формування прямокутного профілю вибою свердловини за рахунок реалізації обертального методу руйнування його криволінійних

стінок, виникнення яких обумовлено технологічною схемою буріння та призведе до зменшення механічної швидкості буріння або до повної зупинки процесу поглиблення.

Деяких пояснень вимагає термін «пориста структура породоруйнівної матриці». Пористими сплавами є особливий клас функціональних матеріалів сучасного машинобудування; тільки вони мають у своєму складі газову фазу як повноправну складову, яка визначає більшість властивостей матеріалу. За способом отримання пористі сплави можна розділити на два великі класи: пористі сплави, структура яких сформована в твердому стані; пористі сплави, що утворюються в результаті здійснення ливарних технологій. Якщо сплави першої групи виявилися непридатними для виконання функцій розміщення і утримання продуктів руйнування куль і гірських порід, то сплави другої групи відповідають практично усім вимогам, які пред'являються до породоруйнівної матриці, особливо це стосується сплавів-газарів. Тому, на їх структурних властивостях зупинимося детальніше.

Газари - це литі пористі сплави, отримані шляхом газо-евтектичного перетворення в системах сплав - водень, що відрізняються особливою пористою структурою. Газари можуть бути отримані з різним типом структури, залежно від параметрів процесу евтектики, але їх завжди відрізняє досить рівномірний розподіл пор, розміри яких можуть змінюватися в межах від 10 м (подовжні) до 10 мм і менш (поперечні), а сама пористість досягає 75%. Стінки пор в газарах чисті, а міжпорові перегородки є сплавом, не забрудненим домішками або добавками. Саме вказані переваги дозволяють рекомендувати газари, як матеріал для виготовлення породоруйнівних матриць в проектуваному приладі.

4. Висновки

1. Детально розглянуто та вивчено, з відповідними висновками, переваги та вади існуючих схем виконання найчутливіших до статичних і динамічних навантажень, впливу абразивних часток та наявності відповідного циркуляційного середовища бурових доліт.

2. Позначені передумови створення вдосконалених конструкцій опор доліт та сформульовані засадничі принципи компоновки систем бурових доліт з детальним обґрунтуванням механізму їх роботи.

3. Проаналізовано можливості генерування та результати впливу на гірський масив явища кавітації, пов'язані із застосуванням відповідних пристроїв.

4. Встановлено деякі закономірності формування свердловини потоком рідини, що несе кулі, в деяких його механічних аспектах, на базі яких сформульовано основні техніко-технологічні заходи процесу гідромеханічного кулеструминного способу спорудження свердловин з високою мірою продуктивності й економічності.

Вдячності

Автори вважають за потрібне висловити слова глибокої вдячності професорсько-викладацькому та допоміжному складу кафедри нафтогазової інженерії та буріння Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» за постійну допомогу та підтримку в проведенні наукових і експериментальних досліджень.

References

1. Vaddadi, N. (2015). *Introduction to oil well drilling*. Bathos publishing [in English].
2. Hossain, M.E., Al-Majed, A.A. (2015). *Fundamentals of sustainable drilling engineering*. Scrivener publishing [in English].
3. Hossain, M.E. & Islam, M.R. (2018). *Drilling engineering: problems and solutions*. Scrivener publishing [in English].
4. Azar, J.J., & Robello, S.G. (2007). *Drilling Engineering*. PennWell Books [in English].
5. Давиденко А.Н., Игнатов А.А. Абразивно-механическое ударное бурение скважин. – Днепропетровськ: Держ. вищ. навч. закл. «Нац. гірн. ун-т», 2013. – 110 с.
6. Curry, G.L. & Feldman, R.M. (2012). *Manufacturing systems. Modeling and analysis*. Springer [in English].

7. Коровяка Є.А., Ігнатов А.О. Прогресивні технології спорудження свердловин. – Дніпро: Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка», 2020. – 164 с.
8. Пат. 95202 Україна МПК E21B 10/46. Бурове долото / А.О. Ігнатов, С.Ю. Андрусенко – Заявл. 02.08.2010; Опубл. 11.07.2011, Бюл. № 13.
9. Пат. 102284 Україна МПК E21B 10/42. Бурове долото / А.О. Ігнатов, М.В. Герасименко – Заявл. 19.07.2011; Опубл. 25.06.2013, Бюл. № 12.
10. Влияние гидростатического давления на ударное абразивно-механическое бурение скважин / А.Н. Давиденко, Б.Т. Ратов, А.А. Пащенко и др. – Алматы: Каспийский общественный университет, 2018. – 171 с.
11. Гукасов Н.А., Кочиев А.М. Гидравлика в разведочном бурении. – Москва: Недра, 1991. – 237 с.
12. Черепанов Г.П. Механика разрушения горных пород в процессе бурения. – Москва: Недра, 1987. – 308 с.

References

1. Vaddadi, N. (2015). *Introduction to oil well drilling*. Bathos publishing [in English].
2. Hossain, M.E., Al-Majed, A.A. (2015). *Fundamentals of sustainable drilling engineering*. Scrivener publishing [in English].
3. Hossain, M.E. & Islam, M.R. (2018). *Drilling engineering: problems and solutions*. Scrivener publishing [in English].
4. Azar, J.J., & Robello, S.G. (2007). *Drilling Engineering*. PennWell Books [in English].
5. Давиденко, А.Н., & Ігнатов, А.А. (2013). *Абразивно-механическое ударное бурение скважин [Abrasive mechanical percussion well drilling]*. – Dnipropetrovsk: Derzh. visch. navch. zakl. «Nats. girn. un-t» [in Russian].
6. Curry, G.L. & Feldman, R.M. (2012). *Manufacturing systems. Modeling and analysis*. Springer [in English].
7. Коровяка, Є.А. & Ігнатов, А.О. (2020). *Прогресивні технології спорудження свердловин [Advanced well construction technologies]*. – Дніпро: Дніпро University of Technology [in Ukrainian].
8. Пат. 95202 Ukraine, ICC E21B 10/46. Бурове долото / А.О. Ігнатов, С.Ю. Андрусенко. – Publ. 11.07.11.
9. Пат. 102284 Ukraine, ICC E21B 10/42. Бурове долото / А.О. Ігнатов, М.В. Герасименко. – Publ. 25.06.13.
10. Davydenko, A.N., Ratov, B.T., Pashchenko, A.A. et al. (2018). *Vliyanie gidrostaticheskogo davleniya na udarnoe abrazivno-mekhanicheskoe burenie skvazhin [Influence of hydrostatical pressure on percussion abrasive mechanical well drilling]*. – Almatyi: Kaspiyskiy obschestvenniy universitet [in Russian].
11. Gukasov, N.A., & Kochiev, A.M. (1991). *Gidravlika v razvedochnom burenii [A hydraulics in the prospecting drilling]*. – Moscow: Nedra [in Russian].
12. 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].