

- during engineering surveys and preparation of territories]. *Instrumentalne materialoznavstvo - Tooling materials science*, 24, 102–113 [in Ukrainian].
13. Azar, J.J., & Robello, S.G. (2007). *Drilling Engineering*. PennWell Books [in English].
 14. Hossain, M.E. (2016). *Fundamentals of Drilling Engineering: MCQs and Workout Examples for Beginners and Engineers*. Wiley-Scrivener Publishing.
 15. Vyrvinskii, P.P., Kuzin, Y.L., Khomenko, V.L. (2010). *Heolohorozvidivalna sprava i tekhnika bezpeky [Exploration and safety]*. Dnepropetrovsk: National Mining University [in Ukrainian].

УДК 622.243.92

DOI: 10.33839/2708-731X-25-1-96-106

А.О. Ігнатів, канд. техн. наук, **І.К. Аскеров**

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

РОЗРОБКА ОКРЕМИХ ТЕХНІЧНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОУДАРНОГО БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН

Послідовно цілісними та комплексними лабораторними, а також аналітичними прийомами досліджено основні фактори техніко-технологічного супроводу процесів гідроударного спорудження свердловин різного призначення, відповідних обставинам, що є характерними для гірських порід середньої твердості та твердих; розглянуто і оцінено вплив параметрів закінченого циклу роботи існуючих та пропонуваніх інноваційних ударних бурових машин на хід і результати формування вибійних умов руйнування гірського масиву.

Охарактеризовано основні етапи технологічного процесу гідроударного буріння свердловин та його переваги перед іншими методами руйнування гірського масиву. Показано існування суттєвих недоліків в значній кількості запропонованих і використовуваних конструкцій гідроударних машин, які не дозволяють в повній мірі забезпечити прояв потенційних можливостей ударно-обертального способу буріння свердловин. Розглянуто конструктивні ознаки інноваційних гідравлічних ударних машин для спорудження свердловин в їх робочому циклі формування динамічних імпульсів. Запропоновано і проаналізовано послідовну методику визначення енергетичних параметрів ударних бурових машин та впливу вказаних факторів на техніко-економічні показники поглиблення вибою споруджуваніх в різних гірничо-геологічних умовах свердловин.

Представлені результати ґрунтовних лабораторних і аналітико-конструктивних досліджень, а також деякі узагальнення промислово-стендових даних є базовими для проектування технічного супроводу і режимних параметрів процесу гідроударного спорудження свердловин з гарантованим забезпеченням високих техніко-економічних показників. Дані з вивчення процесів внутрішньо-приладної циркуляції в гідравлічних ударних машинах є вихідними факторами для обґрунтування конструктивних і технологічних параметрів інноваційних пристроїв для створення динамічних імпульсів з метою інтенсифікації процесів поглиблення вибою свердловини.

Ключові слова: *свердловина, промивальна рідина, гірська порода, бурова машина, механічна швидкість, вибій, робочий цикл, тиск, енергія удару, конструктивна схема.*

Вступ

Використання вибійних бурових машин (незалежно від принципу дії, що покладений в основу їх функціонування) дозволяє отримати певні суттєві переваги щодо реалізації режимно-технологічних параметрів на місці безпосереднього руйнування гірського масиву [1]. У разі експлуатації вибійних машин обертальної дії (турбобури, гвинтові двигуни, електробури)

можна констатувати формування цілого спектру явищ технологічного плану, наприклад, появу спроможності зниження частоти обертання бурильної колони за одночасного зменшення зношування останньої та обсадної колони і решти наддолітних рухомих елементів вибійного компонування [2]; найбільш розповсюджені вибійні машини ударної дії (у більшості випадків – гідроударники, та дещо менше – пневмоударники) допускають створення особливих умов руйнування різновидів гірських порід через інтенсифікацію процесів утворення попередніх деформаційних порушень гірського масиву. За ознаками гідроударне буріння класифікується як різновид ударно-обертального способу формування стовбуру свердловини, коли в якості джерела продукування ударів використовується доволі складна гідравлічна машина [3]. Підкреслимо також наступне: яскравою особливістю означеного способу буріння є те, що він функціонально підпорядковується ознакам конструктивного виконання гідроударників. Ударно-обертальне буріння відрізняє наявність обставини впливу на породоруйнівний інструмент не тільки статичного зусилля подачі та крутного моменту, але й передавання йому ударів певної частоти та сили, причому закон зміни сили таких ударів в часі може бути різним. Конструктивною деталлю гідроударника, яка продукує удари, використовувані для руйнування гірської породи, називається бойок (або молоток), а деталь по якій завдає удару бойок – отримала назву ковадла. Гідравлічним клапаном ударної машини називається деталь, яка призначена для перекриття потоку промивальної рідини, причому перепад тиску, що виник при закритті клапана (явище ідентифікується теоретичним визначенням – гідравлічний удар), сприймається поршнем гідроударника, а далі, за визначеним технічним ланцюгом ударної системи розглядуваної машини, ударні імпульси отримуються спеціальним породоруйнівним інструментом [4]. Зазначимо також, що робочим ходом бойка (може складатися з декількох фаз рухів) є той, на якому останній набирає необхідну швидкість для удару по ковадлу; зворотний хід бойка отримав назву холостого (на кожній фазі означених рухів діє різна система сил). Наведений короткий класифікаційний опис дає підстави вважати, що будь яке удосконалення ударно-обертального способу буріння повинно базуватися на детальному вивченні кожної технічної і технологічної складових процесу гідроударного спорудження свердловин.

Відносно активного характеру динамічного впливу бурового породоруйнівного інструменту на гірський масив [5], всі механічні способи буріння можна поділити на такі головні: обертальний та ударний; всі інші способи буріння є похідними від цих названих, до прикладу: ударно-обертальне буріння гідроударним способом. Зазначена технологія вимагає використання особливого класу машин – гідроударників із приводною енергією потоку (під класифікаційним визначенням гідравлічний удар), яку утворює промивальна рідина (її кінетична енергія перетворюється на поступальні рухи поршня, що здатний створювати імпульси високої частоти для передавання їх породоруйнівному інструментові). Гідравлічний удар в подібних машинах може створюватись за допомогою взаємодії певних гідравлічних елементів, основне завдання функціонування яких полягає в необхідності раптового перекривання потоку рідини. Швидкість перекривання потоку прямо пропорційно визначає граничний тиск формованого гідроудару; отже, чим швидше перекриється потік промивальної рідини, тим більший тиск матиме наступний гідроудар.

Середня швидкість обертання породоруйнівного інструменту, як правило, становить від 60 до 100 оборотів за хвилину, що забезпечує максимальний ефект від буріння. Таким чином, комбіноване ударно-обертальне буріння із використанням гідроударного механізму в основному застосовується для буріння свердловин в скельних породах високої міцності [1].

Узагальнено, з огляду на сказане, сутність ударно-обертального способу буріння полягає в тому, що руйнування гірської породи на вибої свердловини здійснюється зануренням в неї робочого леза інструменту та активним сколюванням окремих секторів породного масиву за рахунок цілеспрямованого формування потрібної енергії кожного окремого удару. Через значну інтенсивність вибійних руйнівних процесів, ударно-обертальний спосіб буріння є доволі застосовуваним і перспективним на подальше

розширення своєї реалізації в практиці спорудження свердловин. Підтвердженням тому, серед значного числа прикладів, є також і його модифікування для щонайширшого удосконалення інших суміжних прийомів і методів будівництва стовбурів свердловини різного призначення. Упевнено можна констатувати наступне: основні конструктивно-технологічні пошуки дослідників зосередилися на розробці машин ударної дії, які максимально повно відповідають критеріям нескладності втілення в окремий функціональний механізм із повним набором ефективних вихідних характеристик, та створенні такого режимного супроводження для гідроударників [3], що дозволило би формування на вибої свердловини якнайприйнятніших умов дезінтеграції гірського масиву.

З упевненістю (яка базується на даних щодо аналітичних і безпосередніх свердловинних досліджень) можна говорити про те, що гідроударне (ударнообертальне) буріння, як і будь-який інший спосіб спорудження свердловин, буде давати найкращі результати лише при певному технологічно обґрунтованому поєднанні основних параметрів режиму буріння (до них необхідно віднести енергію удару, що припадає на одиницю площі зіткнення елемента озброєння руйнівного інструменту з гірською породою, число ударів на один оборот останнього, відстань між піками від двох суміжних ударів і, нарешті, реалізований закон зміни сили удару в часі). При ударнообертальному бурінні необхідно також мати достатнє зусилля подачі і крутний момент на породоруйнівному інструменті. В такій постановці питання раціональної організації гідроударного буріння нескладно бачити, що належне конструктивне виконання ударної машини буде запорукою надійної керованості її робочого циклу, яка дозволить отримувати цілком виправдані прогнозовані значення параметрів режиму гідроударного буріння незалежно від особливостей гідравлічного виконання елементів циркуляційного контуру свердловини й фізично-реологічних властивостей бурової промивальної рідини. Механіка руйнування гірської породи буде так само визначатися не лише енергетичними показниками функціонування гідроударної машини і техніко-технологічними ознаками поверхневого приводу бурової установки [6], але й геометрично-параметричними характеристиками породоруйнівного інструменту. Поставлені теоретично-прикладні завдання можуть бути ефективно вирішені лише на підставі глибинних аналітичних й лабораторних досліджень окремих і циклічно-замкнутих фаз дії ударних машин, а також їх трансформації в роботу конструктивно впорядкованого вибоїного породоруйнівного інструменту (саме тут необхідно наголосити на такій обставині: до переваг ударно-обертального буріння можна віднести можливість використання коронок, спеціальних конструкцій, з твердосплавними різцями для буріння в породах IX - XI категорій за буримістю).

Мета статті полягає в детальному аналітично-лабораторному вивченні та аналізі умов сталої надійної роботи гідроударних бурових машин, а також у розгляді передумов, факторів, особливостей тощо модернізації і технікотехнологічної трансформації окремих вузлів та інструментального супроводу для гідроударників.

Методика

Натурні лабораторні дослідження особливостей функціонування гідравлічних пристроїв генерування ударних імпульсів виконано із застосуванням сучасних методів експериментальних досліджень (зокрема середовища SolidWorks), методик обробки результатів досліджень у середовищі Excel, Mathcad, контрольно-вимірювальних приладів (манометри, витратоміри) і матеріалів [7]. Протікання свердловинних циркуляційних процесів моделювалось на експериментальних свердловинах навчального бурового полігону Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» із застосуванням бурового верстату ЗІФ-650М та бурової установки УКБ-4П, а також відповідного основного бурового і допоміжного інструменту. Аналітичні дослідження виробничих процесів формування робочого циклу ударних машин проводилися із застосуванням широко випробуваної для вирішення відповідних інженерних завдань послідовності таких операцій [8]: формулювання завдання і складання

розрахункової схеми досліджуваного об'єкту; розробка математичної та фізичної моделей, що описують та відтворюють характер досліджуваних операцій; вибір способу рішення поставлених завдань; рішення основних математичних залежностей процесу з максимальним використанням обчислювального експерименту; проведення адекватних теорії лабораторних досліджень; аналіз отриманих результатів і формулювання тотожних висновків.

Результати

Низкою достатньо прецензійних досліджень аргументовано доведено, що за ударно-обертального варіанту гідроударного буріння розвиток основних руйнівних процесів у гірському масиві на вибої свердловини, представленому достатньо міцними породами, відбувається за рахунок впливу саме ударних імпульсів (а в найбільш твердих і крихких породах їх руйнування на вибої відбувається практично тільки через наявність періодичних ударів – осьове навантаження на породоруйнівний інструмент в цьому випадку має підпорядкований характер та забезпечує контакт елементів озброєння з поверхнею вибою, і в руйнуванні породи бере участь виключно опосередковано) [3]. Що стосується обертання породоруйнівного інструмента, то воно також покликане забезпечувати лише переміщення елементів озброєння інструменту уздовж вибою після кожного циклу удару. За вказаних умов означені режимні параметри, в середньому, для ударно-обертального варіанту гідроударного буріння становлять: осьове навантаження $F_{oc} = 1-3$ кН (до прикладу, для звичайного обертального – 10–20 кН); раціональна частота обертання, при частоті ударів 1000 - 1500 уд/хв., приймається в межах від 10 до 30 хв⁻¹. При ударно-обертальному бурінні в породах відносно невеликої міцності руйнування гірського масиву на вибої відбувається не тільки за рахунок ударів; для вказаних порід значення набувають також і осьове навантаження із узгодженою частотою обертання породоруйнівного інструменту, причому їх значення тим більше, чим нижче порода за категорією твердості. Раціональною геометричною формою елементів озброєння породоруйнівного інструменту для означених умов є достатньо загострений клин. Таке виконання кожного окремого руйнівного елементу дозволяє дезінтегрувати породу за допомогою не лише ударних імпульсів; тут має місце заглиблення зазначеного озброєння (під дією осьового навантаження) та наступне зрізання фрагменту (не зруйнованої ударом) породи при обертанні відповідного інструменту. Загалом механізм руйнування за гідроударного буріння умовно може бути представлений таким чином: при сприйнятті руйнівним інструментом обертання від бурильної колони і ударів від гідравлічної машини, на вибої свердловини виникає додаткове роздавлювання породи, а під сколотою породою утворюються зони, в яких гірський масив порушений тріщинами і, як наслідок, має знижену міцність. Таким чином, притиснутий до вибою з достатньою силою руйнівний інструмент у період між ударами може знімати з нього частину ослабленої породи при дещо менших зусиллях, аніж це необхідно при звичайному обертальному бурінні. Загалом, механізм поглиблення бурової свердловини підпадає під класичне визначення вказаного процесу, а саме руйнування породи, і характеризується протіканням таких умовних фаз: поява в гірському масиві пружних деформацій; розвиток мікротріщин по поверхнях максимальної дотичної напруги; утворення ядра руйнування та інтенсивний відрив породи по сторонах бурового породоруйнівного інструменту. Отже, поєднання ударів із безперервним обертанням притисненого з достатньою силою до вибою інструменту, для певного класу гірських порід, може бути запорукою формування якнайприйнятніших умов сталого ефективного поглиблення стовбура свердловини. Окрім відміченого, раціональне співвідношення в системі «осьове навантаження – ударний імпульс» дозволяє передавати на руйнування гірської породи достатньо великі потужності без виникнення поломок елементів озброєння породоруйнівного інструменту.

Якщо вдатися до пояснень принципу побудови раціональної технології гідроударного буріння, необхідно, насамперед, дати визначення тому явищу (гідравлічний удар), що покладено в основу функціонування відповідних машин – генераторів ударних імпульсів [9].

Таким чином гідравлічний удар (у заломленні до бурової справи) – це різке підвищення тиску в напірній лінії (свердловинній циркуляційній ланці) внаслідок раптового різкого перекриття каналу, а саме зміни швидкості руху рідини. Розглядуване явище може бути створене за допомогою низки певних гідравлічних елементів в системах, що передбачають раптове перекривання потоку рідини (в нашому випадку це гідроударники). Швидкість перекривання потоку прямо пропорційно відповідає тиску гідравлічного удару; іншими словами – чим швидше буде перекритий потік рідини, тим більший тиск матиме гідравлічний удар. Необхідно додати наступну характеристику системи: кінетична енергія потоку, при різкому зупиненні, майже миттєво перетворюється в потенціальну стиснутої бурової промивальної рідини, тиск якої розповсюджується в циркуляційному каналі через окремі товщі рідини (зазначимо, що явище удару відбувається в пружному середовищі), викликаючи при цьому відповідні конструкції деформації в елементах гідравлічного контуру (рис. 1) [10].

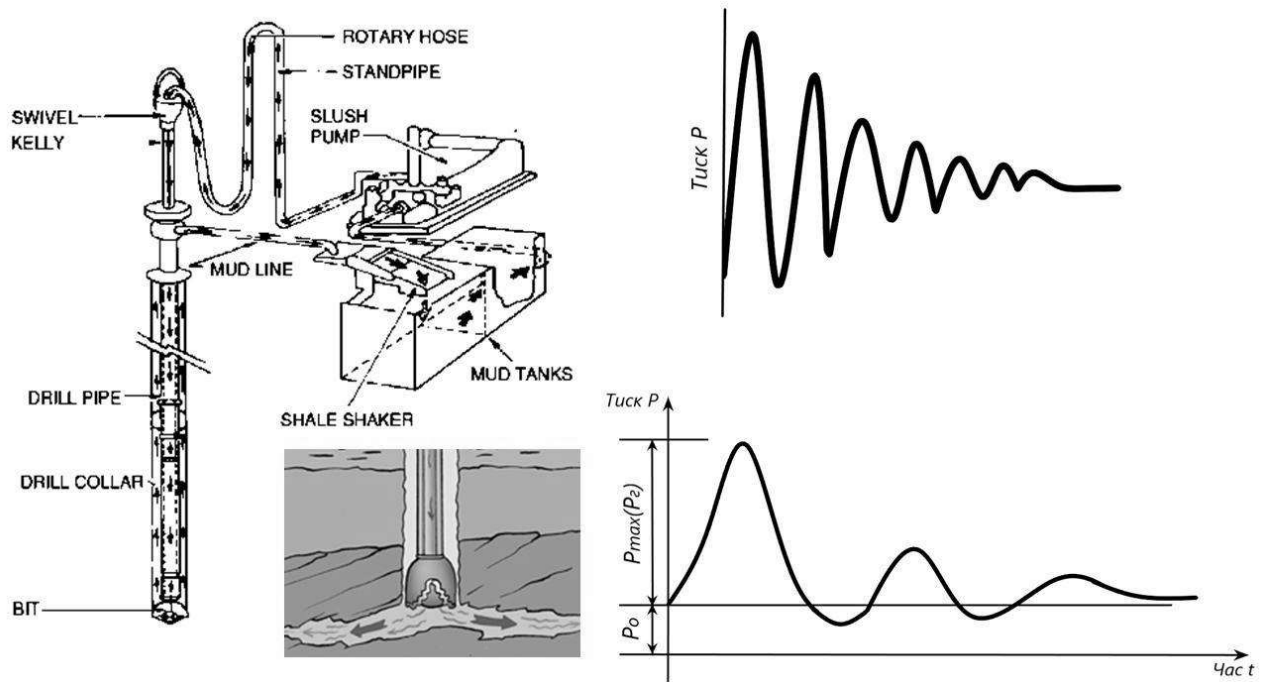


Рис. 1. Схематичне зображення протікання процесу гідравлічного удару в буровій свердловині

Відповідно до технічного оформлення гідроударників, в їх корпусі будуть відбуватися виникнення явищ руху зворотної ударної хвилі, що викликається наявністю помітної різниці тисків між контрольованими площинами; причому час пробігу прямої і зворотної ударних хвиль складатиме тривалість повної фази гідравлічного удару. Фази гідравлічного удару будуть періодично повторюватися, але із поступовим згасанням через втрати енергії та відповідним зниженням абсолютних значень тиску для кожної фази (зазначені процеси відбуваються надзвичайно швидко, позаяк швидкості розповсюдження ударної хвилі надзвичайно великі).

Теорією і практикою виконання бурових робіт доведено таке: порівняно низький к.к.д. гідроударних бурових машин η , значення якого оцінюються за формулою (1), можна пояснити помітним розсіюванням хвильової енергії, яка генерується гідроударником, а також тим, що до гідроударника подається одна і та сама кількість промивальної бурової рідини як у фазі робочого, так і холостого ходів.

$$\eta = \frac{\omega_{уд}}{\omega_r} = \frac{E \cdot f}{Q \cdot P}, \quad (1)$$

де $\omega_{\text{уд}}$ – ударна потужність гідроударника; $\omega_{\text{г}}$ – потужність, що витрачається на роботу гідроударника; E – енергія одиничного удару; f – частота ударів; Q – витрата бурової промивальної рідини; P – тиск, що розвиває буровий насос.

Значимо, що величини E і f при заданих конструктивних параметрах гідроударника та робочому ході залежать від сили F_1 , обумовленої тиском гідроудару $P_{\text{г}}$ (рис. 1), яка, в свою чергу, є функцією витрати Q [11]

$$P_{\text{г}} = \frac{c}{g \cdot s} Q,$$

де C – швидкість звуку в рідині (для води, наприклад, вона становить $C = 1483$ м/с); g – прискорення вільного падіння; s – площа клапана гідроударника.

При зворотному ході E і f залежать від сили F_2 , що перешкоджає руху бойка і клапана вгору і прямо залежить від Q . Таким чином, для того, щоб підвищити η , необхідно, щоб Q була не постійною протягом закінченого циклу функціонування гідроударника, а найбільшою при робочому ході, і найменшою при зворотному (холостому).

Вказаного недоліку (стосовно $Q = \text{const}$ протягом закінченого циклу роботи гідроударника) в суттєвому ступені позбавлені запропоновані фахівцями кафедри нафтогазової інженерії та буріння НТУ «Дніпровська політехніка» конструкції гідравлічних ударників, принцип роботи яких полягає в наступному. Пристрій для гідроударного буріння у свердловину (на бурильній колоні) спускається в неробочому положенні, якому відповідає відсутність генерування ударних імпульсів системою взаємодіючих конструктивних елементів. Сталій роботі гідроударника відповідають наступні характеристики. Ковадло повинно повністю, на величину осевого ходу, переміститися шестигранною направляючою, за допомогою контактної обмежувача, у внутрішню частину стакану. Вказаний процес супроводжується входженням верхньої шийки поршня-бойка в обойму циліндричної обичайки корпусної втулки, нижче рівня наскрізних горизонтальних каналів, що призупиняє вільний прохід промивальної рідини крізь них та викликає неминуче різке зростання тиску із виникненням гідравлічного удару. Миттєве зростання тиску промивальної рідини в робочій камері пристрою, внаслідок значущості контактної поверхні розгінної плити, ефективно трансформується в осевий рух униз поршня-бойка, який, внаслідок набутого запасу кінетичної енергії, долає опір пружини, розташованої в ударній камері, із проходженням деякої величини робочого ходу, та наносить удар по ковадлу. Через різке падіння напору в рідині, викликане саме фазовістю режиму циркуляції й обумовлене наявністю її руху на робочому ході поршня насоса (технологічно переоснащеного) і його відсутністю на холостому (характерно виключно для запропонованої моделі ударної машини), та повне подолання межі можливого стискування пружини, відбувається зворотний рух уверх поршня-бойка, притому видалення залишків рідини з циркуляційної камери відбувається через наскрізні канали, які виконані в циліндричній обичайці корпусної втулки.

Розгінна плита, що різьбовим з'єднанням пов'язана із поршнем-бойком, дозволяє створювати ефективну систему передавання ударних імпульсів виконавчим органам пристрою для гідроударного буріння; а зміною її діаметра, і тим самим контактної площі взаємодії із потоком рідини, можна регулювати енергоємність ударних імпульсів.

Оскільки особливістю роботи гідроударного пристрою є необхідність імпульсної циркуляції промивальної рідини, вона може бути створена швидкими технологічними операціями із буровим насосом – відключенням від роботи одного або двох його плунжерів, ізоляцією компенсатора і виключенням з циклу роботи одного поршня подвійної дії (рис. 2) [12].

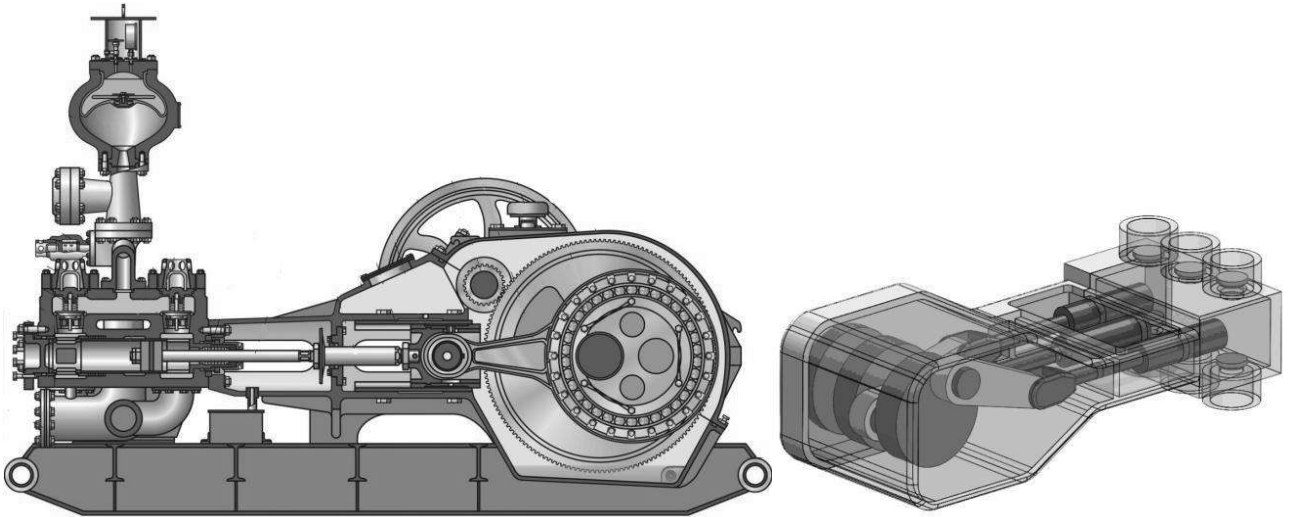


Рис. 2. До пояснення принципу дії бурових насосів

При означеній системі руху рідини досягається можливість саморегулювання режиму холостого ходу поршня-бойка та загальної автоматизації роботи пристрою за рахунок використання закономірностей функціонування відомого поршневого вузла насоса та чіткого узгодження із ними параметрів робочого циклу самого гідроударного пристрою. Підвищенню ефективності подолання значення ходу поршня-бойка та спрямованому управлінню величиною енергоємності в ударному або вібраційному режимі роботи пристрою сприяє встановлення (видалення) регулювальних кілець.

Наявність можливості поверхневого регулювання гідроударного пристрою, генерування постійних ударних імпульсів різної амплітуди, обертання та продукування раціональних значень осьового навантаження на вибій свердловини дозволяють реалізувати найефективніший механізм руйнування порід різної міцності, а саме ударно-обертальний або обертальноударний (відповідним налаштуванням гідроударного пристрою, у т. ч. за рахунок модернізації роботи бурового насоса).

Необхідно зазначити наступне: найважливішими параметрами енергетичної характеристики гідроударників, що визначають ефективність руйнування гірських порід на вибої свердловини, є енергія одиничного удару (E) і ударна потужність (N). Причому для граничних екстремальних значень ходу поршня-бойка будемо мати наступні характеристичні залежності:

$$E = \frac{mV_{уд}^2}{2} \quad (3)$$

та

$$N = \frac{mV_{уд}^2}{2(t_1 + \tau)}, \quad (4)$$

де m – маса поршня-бойка, кг; $V_{уд}$ – швидкість зіткнення поршня-ударника з ковадлом наприкінці фази розгону, м/с; t_1 – час ходу ударника на фазі розгону, с; τ – час ходу поршня-бойка нагору (зворотний хід бойка – холостий хід), с.

Для обчислення енергії удару (E) і ударної потужності (N) можуть бути використані екстремальні залежності, що були отримані в результаті проведення ряду стендово-теоретичних досліджень. За умови, що

$$V < 4A - t_1 = \frac{1}{\beta} \arctg \frac{2\beta}{k}; \quad (5)$$

$$V_{уд} = \frac{kV}{\beta} e^{-\frac{kt}{2}} \sin \beta t; \quad (6)$$

$$\tau = 1,57 \sqrt{\frac{m}{z}}; \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{kV}{A} \left[1 - e^{-\frac{kt}{z}} \left(\frac{k}{2\beta} \sin\beta t + \cos\beta t \right) \right]. \quad (8)$$

Для формул (5–8) для спрощення сприйняття і скорочення запису уведено такі значення постійних коефіцієнтів:

$$A = \frac{z}{m}; \quad \beta = \frac{1}{2} \sqrt{4A - k^2}; \quad k = \frac{\alpha S \rho c}{mg}, \quad (9)$$

де: $V = \frac{Q}{S}$ – швидкість руху рідини в підвідному трубопроводі (бурильній S колоні, яка гідравлічно сполучається із ударною машиною), м/с; $\alpha = 1 - 2$ – коефіцієнт, який враховує зниження тиску під клапаном під час ходу ударника вниз; $S = S_T = S_{nop}$ – площа перерізу підвідного трубопроводу (внутрішнього каналу бурильної колони, яка гідравлічно сполучається із ударною машиною), м²; z – жорсткість пружини поршня-бойка, н/м; ρ – густина бурової промивальної рідини, кг/м³; g – прискорення сили тяжіння, кг/с; Q – витрата бурової промивальної рідини, м³/с.

З аналізу рівнянь (3–9) випливає, що керувати параметрами енергетичної характеристики гідравлічних ударних бурових машин можна шляхом зміни витрати та густини промивальної рідини (Q та ρ), а також рядом конструктивних параметрів, зокрема жорсткістю пружини поршня-бойка (z) і внутрішнім діаметром бурильних труб (S); щодо маси поршня-бойка, то вона для даного гідроударника приймається постійною, оскільки в процесі буріння свердловини змінювати його геометричні розміри неможливо.

Висновки

1. Наукова стаття представляє собою короткий аналітико-теоретичний огляд основних факторів гідроударного спорудження свердловин за допомогою використання спеціальних вибійних бурових машин.

2. Запропонована конструкція гідроударного пристрою є машиною із спрощеною та надійною системою технологічного регулювання, зокрема за рахунок застосування імпульсної циркуляції бурової промивальної рідини, яка може бути створена швидкими технологічними операціями із поверхневим насосом – відключенням роботи одного або двох плунжерів, ізоляцією компенсатора і виключенням з циклу роботи одного поршня подвійної дії стандартного поршневого насосу.

3. Принципово інше конструктивне та технологічне виконання робочих органів і гнучкість режиму їх взаємодії в пропонованому гідроударному пристрої забезпечують: чіткість і узгодженість кожної з окремих фаз формування ударного імпульсу, стабільність та регульованість протікання циркуляційних процесів в гідроударному пристрої незалежно від властивостей промивальної рідини та їх однозначна підлеглисть параметрам гідравлічного циклу в поверхневому буровому насосі, спрощення конструкції та виключення з неї окремих швидкозношуваних елементів за повного збереження всіх функціональних характеристик, розширення діапазону застосування пристрою, наприклад, в технологічних схемах ліквідації аварій й ускладнень.

4. Експериментально-теоретичні дослідження особливостей функціонування розглянутих пристроїв та розробка раціональної методики розрахунку і управління параметрами енергетичних характеристик бурових гідроударних машин повинні продовжуватися у напрямках значного підвищення ефективності процесу генерування ударних імпульсів, за рахунок чого можлива інтенсифікація вибійних руйнівних процесів гірського масиву, що безпосередньо стає чинником збільшення механічної й рейсової швидкостей буріння, а також застосування пристрою для ліквідації аварій й ускладнень в

свердловинах, саме тоді, коли нагальною є потреба створення вібраційних збурень в бурильній колонії й іншому технологічному інструменті.

A.O. Ihnatov, I.K. Askerov

National technical university «Dnipro Polytechnic», Ukraine

DEVELOPMENT OF INDIVIDUAL TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF HYDROPERCUSSION WELL DRILLING

The main factors of technical and technological support of the processes of hydraulic percussion well construction for various purposes, corresponding to the circumstances characteristic of rocks of medium hardness and hard ones, have been studied by consistently holistic and complex laboratory, as well as analytical methods. The influence of the parameters of the completed cycle of operation of existing and proposed innovative percussion drilling machines on the course and results of the formation of bottomhole conditions for the destruction of the rock mass is considered and evaluated.

The main stages of the technological process of hydraulic percussion drilling of wells and its advantages over other methods of the rock mass destruction are characterized. The existence of significant shortcomings in a large number of proposed and used designs of hydraulic percussion machines, which do not allow to fully ensure the manifestation of the potential capabilities of the percussive-rotary method of drilling wells, is shown. The design features of innovative hydraulic percussion machines for well construction in their working cycle of generating dynamic impulses are considered. A consistent method for determining the energy parameters of percussion drilling machines and the influence of these factors on the technical and economic indicators of the bottom hole of wells under construction in various mining and geological conditions is proposed and analyzed.

The presented results of detailed laboratory and analytical-constructive studies, as well as some generalizations of industrial bench data, are basic for the design of technical support and regime parameters of the process of hydraulic percussion construction of wells with guaranteed provision of high technical and economic indicators. Data on the study of internal circulation processes in hydraulic percussion machines are the initial factors for substantiating the design and technological parameters of innovative devices for creating dynamic impulses in order to intensify the processes of deepening the well bottom.

Key words: well, mud fluid, rock, drilling machine, mechanical speed, bottom hole, duty cycle, pressure, impact energy, structural diagram.

Література

1. Ihnatov A. Analyzing mechanics of rock breaking under conditions of hydromechanical drilling // Mining of Mineral Deposits. – 2021. – Vol. 15, N 3. P. 122–129.
2. Vaddadi N. Introduction to oil well drilling. – Bathos (U Vee Infosystems), 2015. – 204 p.
3. Ігнатов А.О., Пащенко О.А., Коровяка Є.А., Семехін В.Ю., Логвиненко О.О., Аскеров І.К. Деякі пояснення ударного механізму впливу на гірські породи при бурінні свердловин // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – 2021. – Вип. 3(66). – С. 177–192.
4. Ігнатов А.О., Аскеров І.К. Особливості конструкції вузлів машин ударної дії та їх застосування в практиці спорудження свердловин // Геотехнічні проблеми розробки родовищ: Матеріали XIX міжнародної конференції молодих вчених (28 жовтня 2021 року, м. Дніпро). – Дніпро: ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України, 2021. – С. 115–120.
5. Ihnatov, A.O., Koroviaka, Ye.A., Pinka, J., Rastsvietaiev V., Dmytruk O. Geological and mining-engineering peculiarities of implementation of hydromechanical drilling principles // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2021. – Vol. 1. – P. 11 – 18.
6. 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.

7. Sadeghi J. Uncertainty Modeling for Engineers [Електронний ресурс]. Режим доступу – <https://uncertainty-for-engineers.github.io/uncertainty-modelling-for-engineers/intro.html>.
8. Speight J.G. Formulas and calculations for drilling operations. Second Edition. – John Wiley & Sons, 2018. – 300 p.
9. Modi P.N., Seth S.M. Fluid mechanics and hydraulic machines. – Standard Book House, 2002. – 1270 p.
10. Pavlychenko A.V., Ihnatov A.O., Koroviaka Ye.A., Ratov B.T., Zakenov S.T. Problematics of the issues concerning development of energy-saving and environmentally efficient technologies of well construction // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2022. – Vol. 1049, N 1. id 012031, 14 p.
11. Falkovich, G. Fluid Mechanics, a short course for physicists. – Cambridge University Press, 2011. – 167 p.
12. Hossain M.E., Al-Majed A.A. Fundamentals of sustainable drilling engineering. – John Wiley & Sons, 2015. – 786 p.

Надійшла 30.08.22

References

1. Ihnatov, A. (2021). Analyzing mechanics of rock breaking under conditions of hydromechanical drilling. *Mining of Mineral Deposits*, 15(3), 122–129.
2. Vaddadi, N. (2015). *Introduction to oil well drilling*. Bathos (U Vee Infosystems).
3. Ihnatov, A., Pashchenko, O., Koroviaka Ye., et al. (2021). Deiaki poiasnennia udarnoho mekhanizmu vplyvu na hirski porody pry burinni sverdlovyh [Some explanations of the impact mechanism on rocks when drilling wells]. *Collection of research papers of the NMU*, 3(66), 177–192 [in Ukrainian].
4. Ihnatov, A., & Askerov, I. (2021). Osoblyvosti konstruktsii vuzliv mashyn udarnoi dii ta yikh zastosuvannia v praktytsi sporudzhennia sverdlovyh [Features of the design of units of percussion machines and their application in the practice of well construction]. Proceedings from Geotechnical problems of field development'21: *XIX mizhnarodna konferentsia modykh vchenukh (28 zhovtnia 2021 roku) – 19nd International conference of young scientists*. (pp. 115–120). Dnipro: IHTM im. M.S. Poliakova NAN Ukraine [in Ukrainian].
5. 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.
6. 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>.
7. Sadeghi, J. (2021). *Uncertainty Modeling for Engineers*. Retrieved from <https://uncertainty-for-engineers.github.io/uncertainty-modelling-for-engineers/intro.html>.
8. Speight, J.G. (2018). *Formulas and calculations for drilling operations. Second Edition*. John Wiley & Sons.
9. Modi, P.N., & Seth, S.M. (2009). *Fluid mechanics and hydraulic machines*. Standard Book House.
10. Pavlychenko, A.V., Ihnatov, A.O., Koroviaka, et al. (2022). Problematics of the issues concerning development of energy-saving and environmentally efficient technologies of well construction. *ICSF-2022. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1049, 012031.
11. Falkovich, G. (2011). *Fluid Mechanics, a short course for physicists*. Cambridge University Press.

12. Hossain, M.E., & Al-Majed, A.A. (2015). *Fundamentals of sustainable drilling engineering*. John Wiley & Sons.

УДК 622.277

DOI: 10.33839/2708-731X-25-1-106-118

А.О. Ігнатів, канд. техн. наук; **О.М. Давиденко**, д-р техн. наук; **В.Л. Хоменко**,
О.А. Пашенко, кандидати технічних наук, **В.В. Яворська**, **С.О. Шипунов**, **Я.С. Ткаченко**

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

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ НЕМЕХАНІЧНИХ СПОСОБІВ БУРІННЯ

Представлено результати експериментальних досліджень особливостей проведення бурових робіт, що пов'язані із застосуванням гідромоніторних струменів для інтенсифікації руйнівних процесів на вибої свердловин, виконано із залученням сучасних методів аналітичного аналізу і відповідних лабораторно-стендових досліджень, зокрема шляхом використання загальних принципів математичного та фізичного моделювання, методик обробки результатів досліджень, контрольованих вимірювальних приладів і матеріалів. Протікання гідравлічних свердловинних бурових процесів моделювалось на експериментальних свердловинах із застосуванням бурових установок та відповідного інструменту і обладнання.

Викладено деякі формальні ознаки нині широко застосовуваних механічних обертових способів поглиблення вибоїв свердловин із визначенням особливостей їх техніко-технологічного супроводження в різних геолого-технічних умовах. Розроблено окремі структурні елементи технології виконання свердловинних руйнівних процесів із застосуванням явищ гідромоніторної дезінтеграції гірського масиву. Представлено засадничі принципи конструктивної побудови лабораторної бази дослідження гідравлічно-активованих струменів бурової промивальної рідини та відповідного вибійного інструменту – гідравлічного буру. Аналітично і практично доведено, що ефективність роботи розглянутих механізмів в значній мірі визначається адекватністю отриманих попередніх розрахункових параметрів гідроруйнування, що є похідною фізико-механічних та хімічних властивостей гірських порід (бурових промивальних рідин), і характеристик використовуваного обладнання, технологічного інструменту тощо.

Створено та обґрунтовано окремі складові удосконаленої технологічної методики та відповідного технічного супроводження виконання свердловинних робіт при застосуванні ефекту гідравлічного руйнування гірського масиву, що базуються на сучасних прогресивних промислових принципах і високих економічних показниках; також представлено загальні та базові конструктивні характеристики обладнання та інструменту для здійснення робіт, пов'язаних із адаптацією гідромоніторних явищ до конкретних свердловинних умов. Отримані дані є основою для подальших розробок в напрямку підвищення якості і надійності виконання бурових і супутніх робіт при проведенні свердловин із застосуванням базових принципів гідравлічного руйнування гірського масиву.

Ключові слова: буріння свердловин, гідромонітор, насадок, руйнування гірського масиву, дослідницький експериментальний стенд, гідравлічний бур, активований струмінь рідини, багатофазні потоки.

Вступ

Загальні та спеціальні вимоги до вибору ефективного способу буріння визначаються, насамперед, необхідністю забезпечення успішної проводки стовбура свердловини за можливого прояву різноманітних ускладнень та із збереженням високих техніко-економічних показників [1]. При поглибленні вибою свердловини його породний масив може руйнуватися дованням, свердлінням або (та) стиранням. Причому кожному з перелічених видів