

- phenomenon of phase transition of the plugging material]. *Instrumentalne materialoznavstvo – Tooling materials science*. (25nd Issue, p. 40–54) [in Ukrainian].
2. Brazhnenko, A. M., Goshovskiy, S. V., Kozhevnikov, A. A. et al. (2007). *Tamponazh gorniyh porod pri burenii geologorazvedochnyih skvazhin legkoplavkimi materialami* [Tamponage of rocks when drilling geological exploration wells with low-melting materials]. UkrGGRI [in Russian].
  3. Sudakov, A.K. Dziubyk, A.R., Kuzin, Yu.L., et al. (2019). *Izoliatsiia pohlynaiuchykh horyzontiv burovykh sverdlovyh termoplastychnykh materialamy* [Insulation of absorbing horizons of drilling wells with thermoplastic materials]. Prosvit [in Ukrainian].
  4. Sudakov A. K. (2000). *Tekhnolohiia izoliacii zon pohloshcheniia burovykh skvazhin s primeneniem termoplastychnykh materialov* [Technology for isolation of well absorption zones using thermoplastic materials]. [Candidate's dissertation]. Dnepropetrovsk [in Russian].
  5. Sudakova, D. A. (2018). *Obhruntuvannia parametriv izoliatsii pohlynaiuchykh horyzontiv burovykh sverdlovyh* [Substantiation of insulation parameters of absorbing horizons of drilling wells]. [Candidate's dissertation]. Ivano-Frankivsk [in Ukrainian].
  6. Voloshyn, Yu. D. (2023). *Udoskonalennia tekhnolohii osvoiennia sverdlovyh z nyzkopronyknymy produktyvnymy horyzontamy* [Improvement of well development technologies with low-permeability productive horizons]. [Candidate's dissertation]. Ivano-Frankivsk [in Ukrainian].
  7. Sudakov, A. K. (2014). *Naukovi osnovy tekhnolohii obladnannia burovykh sverdlovyh kriohenno-hraviinymy filtramy* [Scientific bases of the technology of equipping drilling wells with cryogenic gravel filters] [Doctor's dissertation]. Ivano-Frankivsk [in Ukrainian].
  8. Sudakov, A. K., Koroviaka, Ye. A., Maksymovych, O. V., et al. (2023). *Osnovy naftohazovoi spravy* [Fundamentals of oil and gas business]. Posvit [in Ukrainian].

УДК 622.243.92

DOI: 10.33839/2708-731X-27-1-88-99

**А.В. Павличенко**, д-р техн. наук, **А.О. Ігнатов**, 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*

## **ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УДАРНИХ МАШИН ДЛЯ БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН**

*Дана коротка характеристика особливостям технології ударно-обертального буріння із застосуванням гідрударників. Подано основні закономірності роботи поршневих бурових насосів різних типів у зв'язку з їх включенням у цикл роботи гідрударників. Показано можливі шляхи створення імпульсної циркуляції рідини для промивання за допомогою модернізації роботи бурових насосів. Вказано на перспективи застосування пропонуванних ударних машин в операціях ліквідації свердловинних ускладнень та аварій у товщах глинистих порід.*

*Враховуючи можливість поверхневого регулювання машини для генерування ударних імпульсів різної амплітуди, реалізується найбільш ефективний механізм руйнування порід різної міцності, а саме ударно-обертальний або обертально-ударний. Отримані дані аналітико-лабораторних досліджень є базовими для проєктування техніко-технологічних параметрів буріння із застосуванням ударних машин.*

**Ключові слова:** свердловина, промивальна рідина, гірська порода, бурова машина, механічна швидкість, вибій, поршневий насос, ударний імпульс, конструктивна схема, плунжер.

## Вступ

Потрібно позначити, що комплексний процес спорудження свердловин виступає найважливішим технологічним циклом, який своїм підсумком має отримання в товщі гірських порід свердловини – основного інструменту для проведення робіт з розвідки та розробки родовищ багатьох корисних копалин [1]. Причому область застосування свердловин розповсюджується також і на ті роботи, що пов'язані з реалізацією операцій з будівництва, інженерно-геологічного вивчення територій, облаштування комунікаційних мереж та ін.

Деяке уявлення про сутність свердловинних технологій може дати термінологічне визначення для свердловини як специфічної гірської виробки. Вказане визначення полягає в тому, що свердловиною виступає така гірська виробка (за формою вона наближається до циліндру), яка відрізняється відносно малими поперечними розмірами (діаметр свердловини) та значною поздовжньою протяжністю (глибина свердловини). Найголовнішими характерними елементами свердловини є: гирло, тобто місце перетину вісі свердловини з денною поверхнею; вибій свердловини, так зване її дно; стінки свердловини, іншими словами, бічні поверхні останньої; стовбур розглядуваної виробки – деякий простір у земних надрах, який займає свердловина. Таким чином, для отримання розглянутої інженерної споруди в товщі гірських порід необхідне проведення досить складних операцій з руйнування (буріння) породного масиву на вибої свердловини із метою його просування углиб. Отже, бурінням можна назвати процес створення свердловин (а також шпурів і шахтних стовбурів) шляхом руйнування гірської породи [2].

Через велику кількість функцій для свердловин, різноманітність гірничо-геологічних умов для останніх, вимог до кінцевого результату спорудження свердловин, а також необхідність отримання високих техніко-економічних показників процесу буріння, розповсюдження отримала доволі численна група способів формування стовбуру свердловини в гірському масиві. Проте кожному зі способів відповідають певні умови і необхідність детального обґрунтування параметрів технології буріння свердловин, що буде сприяти якнайповнішому виконанню всіх завдань, що ставляться перед розглядуваною виробкою [1].

Саме через велику роль корисних копалин в забезпеченні сталого розвитку економік провідних держав, удосконаленню процесів пошуку, розвідки та видобутку потрібних природних компонентів приділяється активна увага дослідників та інженерних робітників. До прикладу нафта та газ, включно з продуктами їхньої переробки, не тільки є широко застосовуваними видами палива, але також відносяться до категорії найважливішої сировини для хімічної промисловості [3].

Проводячи аналіз відомостей про стан справ в буровій галузі, можна стверджувати про існування тенденцій щодо: удосконалення способів буріння і відповідного ним бурового та допоміжного інструменту; розробки ефективних заходів відносно реалізації свердловинних процесів руйнування вибою свердловини з наступним його очищенням і кріпленням стінок утворюваного стовбуру свердловини (особливо в складних геологічних умовах) [4].

На даний час, серед численних способів буріння (із залученням механічних, фізичних та хімічних полів впливу – як окремо, так і у певній комбінації) найбільше поширення в геологорозвідувальній і нафтогазовій справі отримав обертальний спосіб (шпіндельний і роторний відповідно). В деяких випадках вдаються до застосування ударного (з його модифікаціями у вигляді ударно-штангового і ударно-канатного) способу буріння, достатньо ефективним є також ударно-обертальний спосіб (реалізований за допомогою спеціальних вибійних машин ударної дії з гідравлічним або пневматичним джерелом енергії) [5]. Особливістю обертального способу буріння є те, що поглиблення вибою свердловини йде за рахунок паралельного впливу крутного моменту (отриманого від обертача – поверхневого

розташування ротора або шпindelного верстата, можливий також варіант застосування вибійних двигунів типу турбобура, гвинтового бура, електробура тощо) та осевого навантаження на породоруйнівний інструмент (створюваного гідравлічною системою поверхневого шпindelного верстата або вагою бурового інструменту). Вказане пояснює особливості сучасних трендів бурового обладнання та інструменту, спрямованих на удосконалення техніко-технологічних аспектів конструкції обертачів і вибійних двигунів різних типів, схем компоновки і озброєння вибійних породоруйнівних інструментів (бурових коронок та доліт); крім того, слід відзначити інтерес дослідників до раціоналізації регламентних норм процесів поглиблення свердловини і їх оформлення в якості інженерної споруди довготривалої експлуатації [6].

Беззаперечним є те, що інноваційний розвиток геологорозвідувального і видобувного секторів промисловості повинен базуватися на сучасних досягненнях відповідних теоретичних і прикладних досліджень. В нашому випадку способи буріння свердловин будуть у вищій мірі ефективними тоді, коли вдасться максимально збільшити коефіцієнт їх корисної дії, який для теперішніх модифікацій обертального способу становить лише декілька одиниць відсотків [7]. Необхідно також змінити ставлення до впровадження більш досконалих способів буріння, промислове застосування яких іноді вважається безперспективним та таким, що потребує кардинального переозброєння всього технологічного циклу спорудження свердловин [8].

Розглядаючи особливості обертального способу буріння, можна з'ясувати, що для нього існує достатньо велика кількість можливостей підвищення ефективності, про що свідчать відповідні науково-практичні розробки [9]. Вдосконалення системи створення крутного моменту і обертання для бурильної колони, розробка прогресивного породоруйнівного інструменту, застосування комплексних очисних агентів разом дозволяють збільшувати техніко-економічні показники розглядуваного способу буріння, однак часто осторонь залишається проблематика врахування аспектів механіки руйнування гірської породи на вибої та її найголовнішого правила: дезінтеграція гірського масиву буде спостерігатися лише у тому випадку, коли у породах створюються напруги, що перевищують межу їх міцності. Для інтенсифікації означеного нами процесу вельми ефективним є прикладання до гірського масиву динамічних навантажень. Такий комбінований вплив на гірську породу (обертальний рух вибійного інструменту з одночасним накладенням ударів) прийнято у буровій справі класифікувати як ударно-обертальне буріння [6]. Реалізація на вибої свердловини певних високодинамічних коливань породоруйнівного інструменту дозволяє передати гірській породі додаткову енергію, причому сам процес руйнування гірського масиву характеризується формуванням відносно крупних частинок шламу, що сприяє значному зменшенню енергоємності процесу ударно-обертального буріння. Показниками технологічного режиму ударно-обертального буріння необхідно вважати: зусилля подачі та крутний момент на породоруйнівному інструменті, частоту і силу ударних імпульсів для останнього. Варіюючи значення частоти і сили ударів, зусилля подачі та окружної швидкості, можна в досить широкому діапазоні ефективно змінювати та направлено корегувати характер вибійних руйнівних процесів. Вказане регулювання можливе лише на підставі створення дієвих важелів впливу на поверхневе обладнання та вибійні двигуни, що і виступає проблемним питанням в ракурсі удосконалення механічних способів буріння свердловин [5].

Метою статті є розгляд основних конструктивно-технологічних особливостей машин ударної дії та розробка на цій підставі ефективних регламентних норм ударно-обертального способу буріння свердловин різних промислових груп за своїм призначенням.

### **Методика дослідження**

Виконання аналітичних і натурних лабораторних досліджень особливостей конструктивного оформлення та функціонування вибійних пристроїв генерування ударних імпульсів здійснювалося із застосуванням сучасних: алгоритмів аналітичних та

експериментальних досліджень; прийомів математичної обробки результатів досліджень, зокрема, у середовищі Excel і Mathcad; залученням відповідного контрольно-вимірального блоку (манометри, витратоміри, тахометри) [10]. Аналітичні дослідження мали за базу наступну послідовність: складання завдання дослідження і його розрахункової схеми; складання математичної та фізичної моделей, що відтворюють характер досліджуваних процесів; вибір способу розв'язання поставлених завдань та рішення основних математичних залежностей процесу; аналіз отриманих результатів і формулювання висновків [11]. Свердловинні циркуляційні процеси моделювались на експериментальних стендах навчального бурового полігону НТУ «Дніпровська політехніка» із застосуванням бурових верстатів обертального буріння, а також відповідного основного бурового і допоміжного технологічного інструменту.

### Результати дослідження та їх обговорення

Практичні результати ґрунтовних досліджень щодо перспектив удосконалення обертального буріння дозволяють сформулювати ключові характеристики основних чинників подальшого розвитку розглядуваного способу отримання бурових свердловин в земних надрах [8]. До таких можна віднести, серед іншого, наступні: модернізація окремих конструктивних вузлів бурового породоруйнівного інструменту, раціоналізація технологічних режимів буріння, а також формування прогресивних компоновок вибійної частини бурильної колони. Вказана нами частина бурильної колони, в різних інтерпретаціях, може включати жорсткі обважені бурильні труби (ОБТ), різні вибійні двигуни, породоруйнівний інструмент; також неодмінними атрибутами низу бурильної колони, за глибокого буріння, виступають інструменти для центрування (сприяють співвісному розміщенню вісі бурильної колони з віссю свердловини в стовбурі останньої) та калібрування (є необхідними для підтримки номінального діаметру стовбура свердловини), інші внутрішньо-свердловинні пристрої, системи телеметрії тощо [1].

Підбір виду вибійного компоновання базується на визначенні основних цілей свого застосування. Вибійні компоновання можуть виконувати завдання з отримання відносно вертикальних свердловин, похило-скерованих упритул до горизонтальних. Нами прийнято до дослідження особливості функціонування вибійних двигунів типу гідравлічних генераторів ударних імпульсів, що застосовуються в якості самостійного елемента (розміщеного над породоруйнівним інструментом) компоновки нижньої частини бурильної колони (рис. 1).

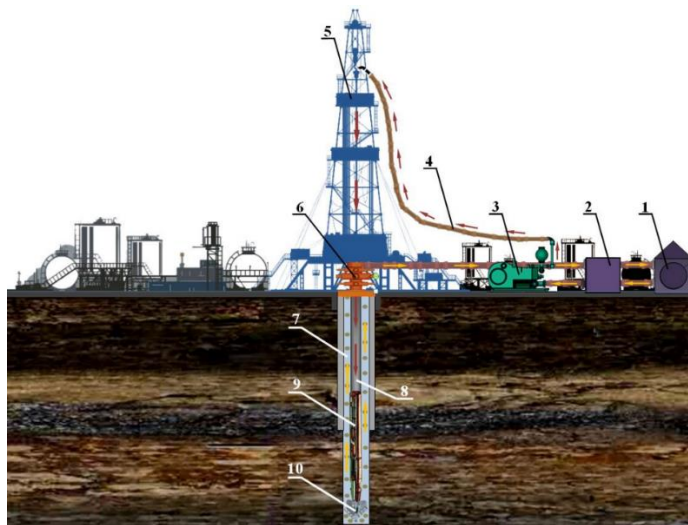


Рис. 1. Вигляд бурового майданчика із застосуванням обладнання та принцип організації циклу руху промивальної рідини: 1 – блок очищення та регенерації промивальної рідини; 2 – ємність для промивальної рідини; 3 – буровий насос; 4 – нагнітальний шланг; 5 – бурова вежа; 6 – блок противикидного обладнання; 7 – висхідний потік промивальної рідини; 8 – бурильна колона; 9 – генератор ударних імпульсів; 10 – бурове долото

Відповідно до ознак ударно-обертального (або обертально-ударного) способу буріння, необхідним обладнанням також виступають поверхневий обертач та буровий насос, у функції якого включається і привід вибійного двигуна. Принцип буріння свердловин ударними машинами полягає в комбінованому впливі на гірський масив, який об'єднує в собі ударний та обертальний рухи породоруйнівного інструменту; саме занурення елементів озброєння породоруйнівного інструменту в гірський масив відбувається за рахунок інтенсивного нанесення ударів із паралельним накладанням крутного моменту, що сприяє сколюванню або зрізанню породи. Розглядуваний спосіб буріння відрізняється зменшенням необхідного зусилля подачі (у випадку порівняння з обертальним способом), причому позитивним наслідком зазначеного є деяке зменшення зносу бурового інструменту із одночасним підвищенням механічної швидкості буріння (переважати в балансі отримання об'єму зруйнованої породи може як удар, так і обертання інструменту, звідки і розрізняють ударно-обертальне та обертально-ударне буріння) [3].

Перехід від обертального до ударно-обертального способу буріння не потребує ніяких суттєвих змін в технічній схемі функціонування обладнання для спорудження свердловин. Уваги тут потребує організація системи управління технологічними характеристиками вибійної ударної бурової машини, що можливо при належній підготовці до роботи поверхневого насосу. Класифікувати насос можна як певного типу гідравлічну машину; призначенням останньої є трансформація механічної енергії приводного двигуна в енергію рідини, що потрібно перекачувати. В основу роботи різних типів насосів покладаються певні фізичні процеси та явища, які, власне, і визначають особливості конструктивного виконання гідравлічної частини розглядуваної машини (рис. 2). Наявність досить значного за числом модельного ряду насосів може бути пояснена великою кількістю виконуваних насосами завдань та вимог до їх силових і гідравлічних параметрів [12].

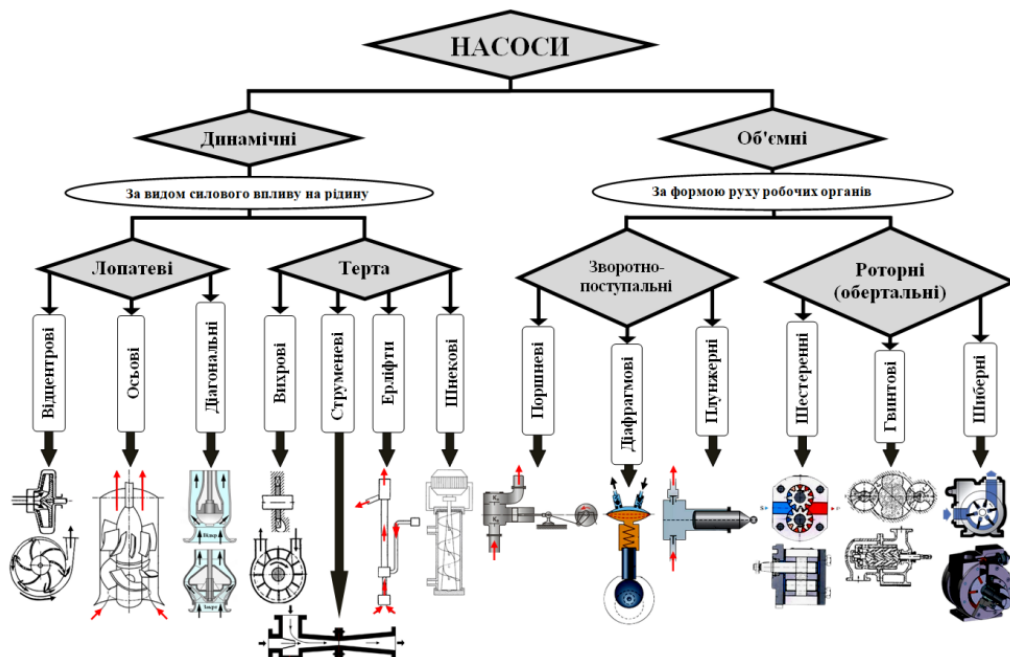


Рис. 2. Класифікаційні ознаки насосів

Відповідно до особливостей функцій, які притаманні буровим насосам, застосування в практиці спорудження свердловин знайшли насоси, що за принципом дії відносяться до класу об'ємних гідравлічних машин [13]. Робочий цикл для об'ємних насосів полягає в

поперемінному заповненні гідравлічної камери рідиною та витісненні цієї рідини з названої камери в напірний циркуляційний контур, в нашому випадку підвідний шланг. Тут необхідно позначити, що гідравлічну циркуляційну систему бурової відрізняє наявність великої кількості для неї гідравлічних опорів, як по довжині, так і місцевих; значний перепад тиску потрібен і для підтримки заданого режиму роботи вибівної ударної машини. Через вказане саме поршневі насоси найбільш прийнятний для застосування на бурових ділянках. Поршневі насоси, в порівнянні з іншими найбільш розповсюдженими типами насосів (рис. 3), забезпечують отримання вельми високих показників тиску нагнітання для переміщуваної рідини (навіть при значній її в'язкості) [14].

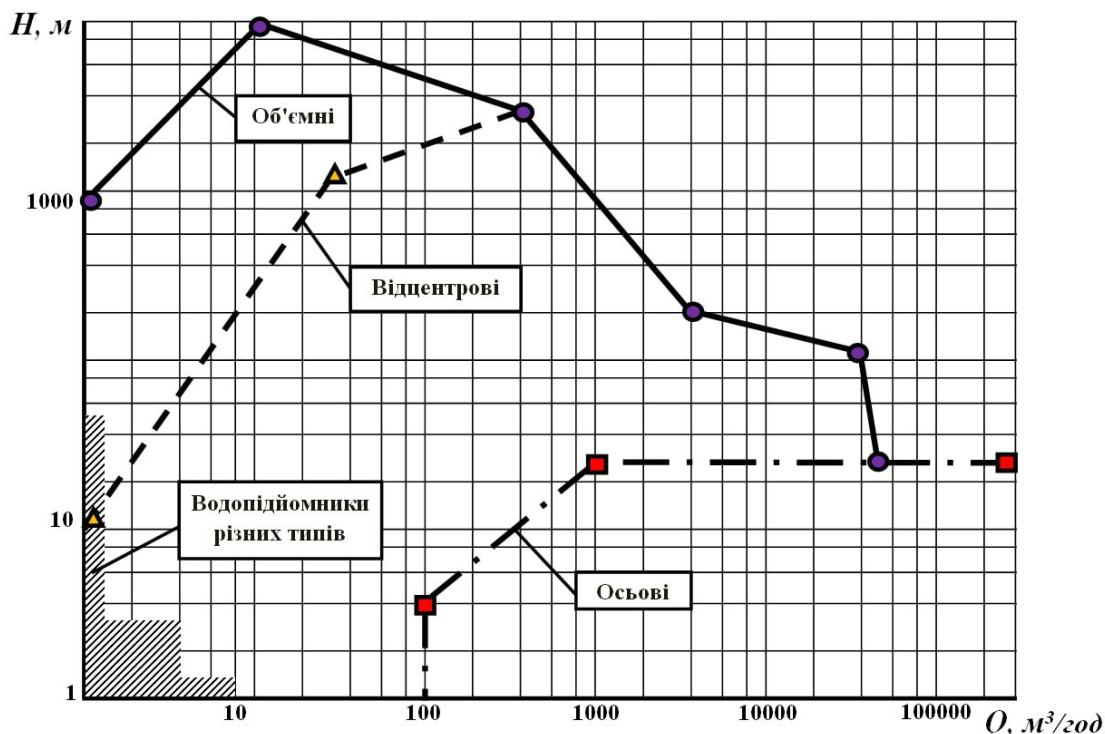


Рис. 3. Діапазон змін величин подачі ( $Q$ ) та напору ( $H$ ) для різних типів насосів

При розробці конструктивних схем удосконалених машин ударної дії нами ставилося завдання: забезпечення для них чіткості та узгодженості кожної з послідовних фаз генерування ударного імпульсу; дотримання стабільності і керованості здійснення циркуляційних процесів (з виключенням можливого впливу на них окремих, у т.ч. реологічних, властивостей промивальних рідин); створення ефективного ланцюжка взаємодії із поверхневим буровим насосом; спрощення компоновки насоса із паралельним виключенням з неї окремих швидкозношуваних деталей без погіршення надійності виконання кожної з функцій насосу [15]. Позначений підхід дасть змогу розширити можливу область застосування пристрою для умов реалізації твердосплавного й алмазного (включаючи сюди і полікристалічне озброєння інструменту) способу буріння із одночасним зростанням показників механічної і рейсової швидкостей буріння. Пропоновані пристрої будуть корисними у випадках виконання виробничих операцій з ліквідації ускладнень (а також аварій) в свердловинах шляхом передавання бурильній колоні ударних імпульсів певних енергетичних характеристик, що дозволить скоротити час спорудження свердловин [16].

Робота гідроударників характеризується трансформуванням гідравлічного удару, що спричиняється миттєвим стрибком тиску в рідині через перекриття каналу її руху, в осьовий рух поршня-бойка, який за рахунок набутого запасу кінетичної енергії наносить удар по

ковадлу. Так званий холостий (тобто зворотний) рух уверх поршня-бойка може відбуватися за рахунок запропонованого нами фазового принципу створення різкого падіння (так само як і зростання) напору в рідині. Необхідним допоміжним чинником забезпечення циклу руху поршня-бойка виступає наявність в конструкції ударного вузлу пружини стискування або камери високого тиску із стисненим газом, які виконують роль поворотного механізму [17].

Для розглянутих конструкцій гідроударників необхідною умовою виступає присутність імпульсної циркуляції бурової промивальної рідини, створити яку можна за допомогою деякої модернізації бурового насосу [14]. Пояснення принципу такої модернізації доцільно здійснити на прикладі розгляду гідравлічного циклу в буровому насосі, що може бути власне поршневого або плунжерного виконання. Для поршневих насосів, за визначенням, характерною ознакою є те, що діаметр його поршня (поршнів) перевищує довжину останнього (останніх), іноді їх називають насосами з дисковим поршнем (рис. 4); а плунжерним (скальчастим) являється насос, у якого поршень виконаний із довжиною, перевищуючою його діаметр (рис. 5).

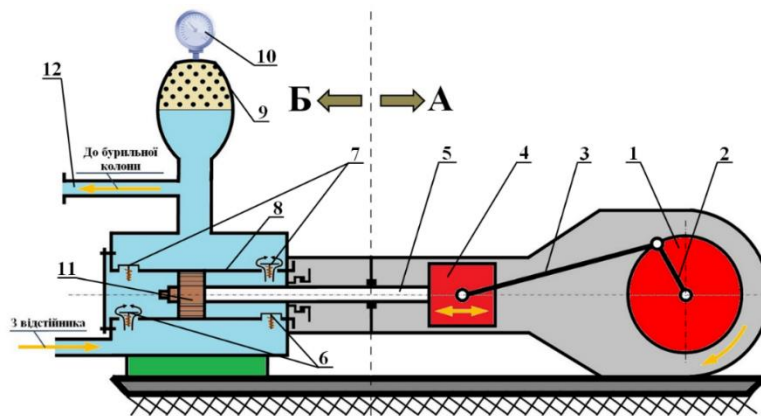


Рис. 4. Принципова схема поршневого насоса: А – механічна частина, де 1 – ексцентрик, 2 – кривошип, 3 – шатун, 4 – крестковф, 5 – поршень; Б – гідравлічна частина, де 6 – всмоктувальні клапани, 7 – нагнітальні клапани, 8 – поршнева втулка, 9 – компенсатор, 10 – манометр, 11 – дисковий поршень, 12 – нагнітальний трубопровід

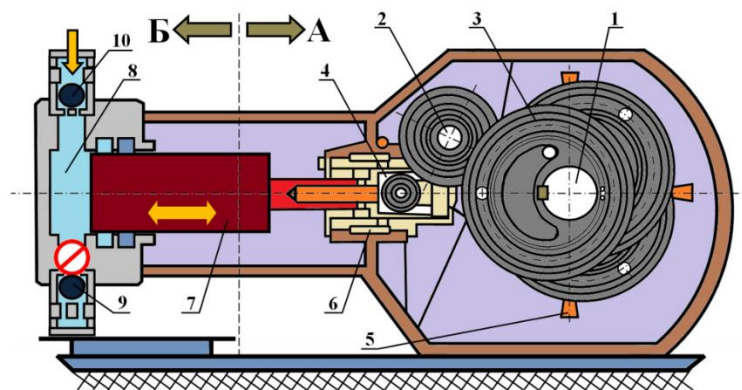


Рис. 5. Принципова схема компонування вузлів трьохплунжерного насоса: А – механічна частина, де 1 – ексцентриковий вал, 2 – приводний вал-шестерня, 3 – кривошипний вузол, 4 – повзун, 5 – крильчатка для розбризкування масла, 6 – манжети ущільнювальні; Б – гідравлічна частина, де 7 – плунжер, 8 – гідравлічна камера, 9 – всмоктувальний клапан (на рис. показаний закритим), 10 – нагнітальний клапан

Серед переваг поршневих насосів, які, власне, і обумовили їх значне поширення, можуть бути позначені наступні: можливість перекачування різних за фізичними та реологічними

властивостями рідин; незалежність подачі насосу від напору, що розвивається; можливість отримання високих тисків нагнітання навіть при незначних подачах; достатньо високий коефіцієнт корисної дії [12]. Поруч із вказаними перевагами необхідно також відзначити і деякі важливі недоліки, такі як: тихохідність насосу (це є причиною великих розмірів та ваги машини, яка повинна створювати значні величини подачі рідини); деяка складність конструктивного виконання; необхідність наявності спеціальних засобів із метою регулювання подачі та значна нерівномірність останньої – це і є причиною встановлення компенсаторів для насосів.

Необхідно позначити, що принцип руху поршня розглядуваних насосів обумовлюється закономірністю функціонування кривошипно-шатунного механізму (рис. 4, 5), а тому за умови прийняття припущення про те, що довжина шатуна є нескінченно довгою, шлях  $l$ , який проходить ізольований дисковий поршень (плунжер), пов'язаний із кутом повороту  $\alpha$  кривошипу із деяким радіусом  $r$  наступним чином

$$l = r (1 - \cos \alpha). \quad (1)$$

Диференціювання виразу (1) дозволяє отримати рівняння для визначення швидкості поршня  $v$  (перша похідна від шляху за часом)

$$v = \frac{dl}{dt} = r \sin \alpha \frac{d\alpha}{dt} = r \omega \sin \alpha. \quad (2)$$

Проаналізувавши рівняння (2) можна зробити ряд корисних висновків, а саме: швидкість поршня (плунжера) визначається ординатою синусоїди  $k_0, k_1, k_2, \dots, k_6$  (рис. 6); за умови  $\alpha = 0^\circ$  та  $\alpha = 180^\circ$  швидкість  $v$  дорівнюватиме 0, натомість при  $\alpha = 90^\circ$  вказана швидкість буде максимально можливою. Також на розглядуваному рис. 6 літерою  $h$  позначено середню ординату синусоїди, що визначає ступінь нерівномірності подачі рідини насосом.

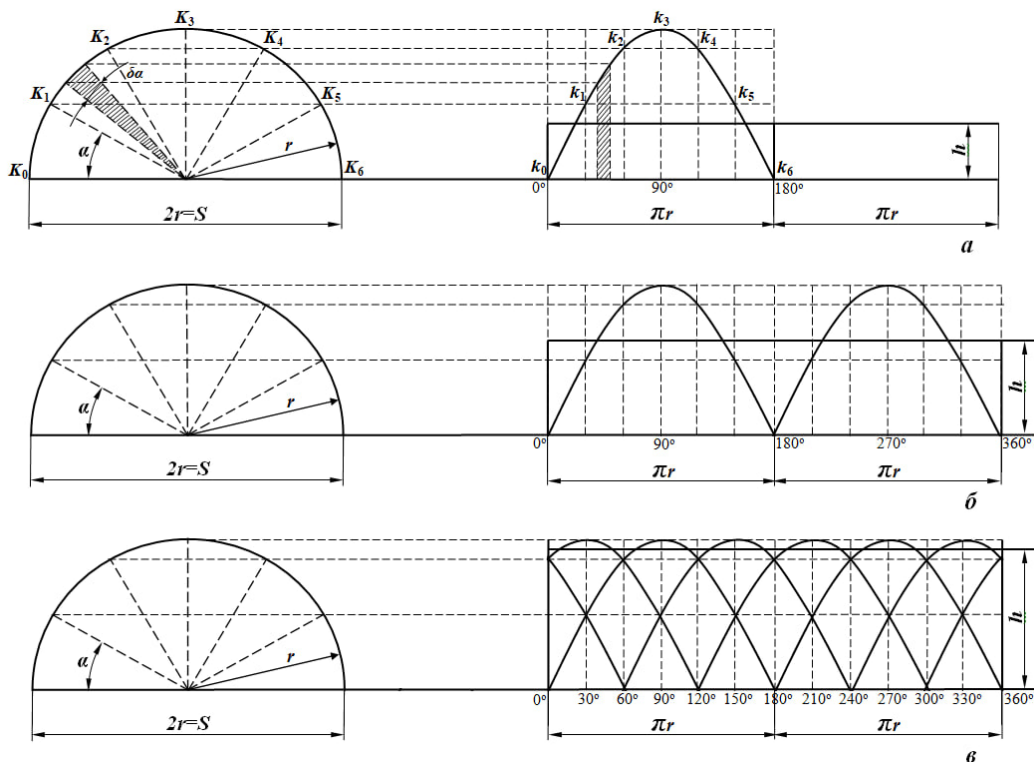


Рис. 6. Графічне зображення подачі насосу: *а* – одноразової дії, *б* – дворазової дії, *в* – триразової дії

Відповідно до даних рис. 6, ми бачимо, що за кожний повний оборот кривошипу поршень (плунжер) насосу проходить шлях  $2S$ ; наведені графічні залежності на фрагментах *а*,

б, в можна розглядати як роботу одного, спільну двох та спільну трьох поршнів (плунжерів) відповідно. Таким чином, найбільш рівномірна подача насосу буде спостерігатися у названій гідравлічній машині триразової дії, а це і покладено в основу роботи гідроударників.

Базуючись на отриманих даних відносно закономірностей функціонування поршневих (плунжерних) насосів, ми можемо створювати переривчасту подачу рідини для гідроударників шляхом залучення до роботи лише одного поршня (для насоса подвійної дії) з паралельною ізоляцією компенсатора, або лише одного (двох) плунжерів, що, теоретично, сприятиме найбільш високому ступеню надійної роботи ударної машини [18].

Уваги потребує пояснення переваг роботи запропонованих конструкцій гідроударників у разі їх застосування в якості джерел коливань, що характерно при ліквідації ускладнень в стовбурі свердловини у вигляді прихватів бурильних колон (інструменту). Прихвати можна вважати найпоширенішим видом ускладнень (які можуть перейти в категорію аварій), що супроводжують процеси спорудження нафтогазових і колонкових геологорозвідувальних свердловин. Означене явище може бути викликано обвалами нестійких гірських порід, набуханням порід в стінках свердловини, осілим шламом, глинистою кіркою, затягуванням бурильної колони в жолоб та ін.

Практика ліквідації прихватів довела ефективність застосування механічних; гідравлічних; електричних; хімічних, електрохімічних та комбінованих впливів на прихвачену бурильну колону. Головним підходом до усунення прихватів виступає необхідність виключення або істотного зменшення дії, утримуючої нерухомо бурильну колону сили.

Розроблені нами ударні машини, окрім коливальних імпульсів в бурильній колоні, внаслідок особливої схеми періодичної циркуляції промивальної рідини можуть виступати в якості комплексного вузлу впливу на джерело виникнення прихвату. Означене пояснюється присутністю дещо посиленого гідравлічного розмиву зокрема скупчень зруйнованої гірської породи (агрегатованих глинистою дисперсною фазою) активним потоком промивальної рідини із значними перепадами швидкісного напору [6].

Беручі до уваги наведені відомості, можна стверджувати наступне: розглянутим компонуванням гідроударних пристроїв та схемою їх взаємодії із поверхневими буровими насосами досягається висока ефективність процесу генерування ударних імпульсів; за рахунок вказаного інтенсифікуються вибірні руйнівні процеси гірського масиву, що безпосередньо стає чинником збільшення механічної й рейсової швидкостей буріння свердловин.

## **Висновки**

Наукова стаття, що представлена до розгляду, є аналітичним та частково стендовим дослідженням головних питань створення раціонального регламенту процесу спорудження свердловин при ударно-обертальному впливі на гірський масив.

На конкретних прикладах доведено, що галуззю ефективного застосування ударних машин може бути буріння розвідувальних, експлуатаційних, геотехнологічних та технічних свердловин (у т. ч. значного діаметру) в породах широкого діапазону властивостей.

Нами показано, що істотно інше конструктивне виконання та технологічна взаємодія окремих вузлів машин ударної дії, в комплексі, забезпечують високий ступінь узгодженості кожної з окремих фаз продукування ударного імпульсу незалежно від властивостей промивальної рідини та застосовуваного інструменту.

Перспективними є подальші дослідження в напрямку суттєвого розширення області застосування гідроударних пристроїв при спорудженні свердловин в породах із різними механічними властивостями та в операціях з усунення аварій і ускладнень в свердловинах.

A.V. Pavlychenko, A.O. Ihnatov, I.K. Askerov

*Dnipro University of Technology*

### TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL FEATURES OF HAMMER IMPACT MACHINES FOR DRILLING WELLS

*A brief description of the features of rotary impact drilling technology using hydraulic hammers is given. The basic principles of operation of piston mud pumps of various types are presented in connection with their inclusion in the operating cycle of hydraulic hammers. Possible ways to create pulsed circulation of the flushing fluid by modernizing the operation of mud pumps are shown. The prospects for using the proposed hammer impact machines in operations to eliminate well complications and accidents in clayey rocks are indicated.*

*Taking into account the possibility of surface adjustment of the machine for generating impact pulses of various amplitudes, the most effective mechanism for destruction of rocks of varying strength is implemented, namely impact-rotational or rotational-impact. The obtained data from analytical and laboratory studies are basic for designing technical and technological parameters of drilling processes using hammer impact drilling machines.*

**Key words:** well, flushing fluid, rock, drilling machine, mechanical speed, bottom hole, piston pump, impact pulse, design diagram, plunger.

#### Література

1. Vaddadi N. Introduction to oil well drilling. Bathos (U Vee Infosystems), 2015. – 204 p.
2. Ihnatov A. Analyzing mechanics of rock breaking under conditions of hydromechanical drilling. *Mining of Mineral Deposits*. 2021. Vol. 15, N 3. P. 122–129.
3. Ouadfeul, S. Aliouane, L. Oil and Gas Wells. IntechOpen, 2020. 325 p.
4. Aziukovskyi O.O., Koroviaka Ye.A., Ihnatov A.O. Drilling and operation of oil and gas wells in difficult conditions. Dnipro: Zhurfond, 2023. 159 p.
5. Ігнатів А.О., Пащенко О.А., Коров'яка 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.
6. Ігнатів А.О., Аскеров І.К. Особливості конструкції вузлів машин ударної дії та їх застосування в практиці спорудження свердловин. *Геотехнічні проблеми розробки родовищ: матеріали ХІХ міжнародної конференції молодих вчених (28 жовтня 2021 року, м. Дніпро)*. Дніпро: ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України, 2021. С. 115–120.
7. 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.
8. Ihnatov A., Koroviaka Ye., Rastsvietaiev V., Tokar L. Development of the rational bottomhole assemblies of the directed well drilling. *Gas Hydrate Technologies: Global Trends, Challenges and Horizons (GHT 2020): materials of IV International Scientific and Technical Conference*. Vol. 230. E3S Web of Conferences. 2021. P. 01016.
9. 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.
10. Sadeghi J. Uncertainty Modeling for Engineers URL: <https://uncertainty-for-engineers.github.io/uncertainty-modelling-for-engineers/intro.html>.
11. Speight J.G. Formulas and calculations for drilling operations. Second Edition. John Wiley & Sons, 2018. 300 p.
12. Modi P.N., Seth S.M. Fluid mechanics and hydraulic machines. Standard Book House, 2002. 1270 p.

13. Falkovich, G. Fluid Mechanics, a short course for physicists. Cambridge University Press, 2011. 167 p.
14. Volk M. Pump Characteristics and Applications. CRC Press, 2013. 516 p.
15. Hossain M.E., Al-Majed A.A. Fundamentals of sustainable drilling engineering. John Wiley & Sons, 2015. 786 p.
16. Ihnatov A.O., Koroviaka Ye.A., Haddad J., Tershak B., Kaliuzhna T., Yavorska V. Experimental and theoretical studies on the operating parameters of hydromechanical drilling. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2022. N 1. P. 20–27.
17. Пристрій для гідродарного буріння: пат. 151535 Україна: Е21В 4/14. № u202105688; заявл. 08.10.2021; опубл. 10.08.2022, Бюл. № 32.
18. Гідродарник для буріння: пат. 151571 Україна: Е21В 4/14. № u202105685; заявл. 08.10.2021; опубл. 17.08.2022, бюл. № 33.

Надійшла 14.10.24

### References

1. Vaddadi, N. (2015). *Introduction to oil well drilling*. Bathos (U Vee Infosystems).
2. Ihnatov, A. (2021). Analyzing mechanics of rock breaking under conditions of hydromechanical drilling. *Mining of Mineral Deposits*, 15(3), 122–129.
3. Ouadfeul, S. & Aliouane, L. (2020). *Oil and Gas Wells*. IntechOpen.
4. Aziukovskyi, O.O., Koroviaka, Ye.A., & Ihnatov, A.O. (2023). *Drilling and operation of oil and gas wells in difficult conditions*. Zhurfond.
5. Ihnatov, A., Pashchenko, O., Koroviaka Ye., et al. (2021). Deiaki poiasnennia udarnoho mekhanizmu vplyvu na hirski porody pry burinni sverdlovyn [Some explanations of the impact mechanism on rocks when drilling wells]. *Collection of research papers of the NMU*, 3(66), 177–192 [in Ukrainian].
6. Ihnatov, A., & Askerov, I. (2021). Osoblyvosti konstruktsii vuzliv mashyn udarnoi dii ta yikh zastosuvannia v praktytsi sporudzhennia sverdlovyn [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 Ukrainy [in Ukrainian].
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. 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.
9. 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.
10. Sadeghi, J. (2021). *Uncertainty Modeling for Engineers*. Retrieved from <https://uncertainty-for-engineers.github.io/uncertainty-modelling-for-engineers/intro.html>.
11. Speight, J.G. (2018). *Formulas and calculations for drilling operations. Second Edition*. John Wiley & Sons.
12. Modi, P.N., & Seth, S.M. (2009). *Fluid mechanics and hydraulic machines*. Standard Book House.

13. Falkovich, G. (2011). *Fluid Mechanics, a short course for physicists*. Cambridge University Press.
14. Volk M. (2013). *Pump Characteristics and Applications*. CRC Press.
15. Hossain, M.E., & Al-Majed, A.A. (2015). *Fundamentals of sustainable drilling engineering*. John Wiley & Sons.
16. Ihnatov, A.O., Koroviaka, Ye.A., Haddad, J., et al. (2022). Experimental and theoretical studies on the operating parameters of hydromechanical drilling. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 1, 20–27.
17. Ihnatov, A.O., Askerov, I.K. (2022). *Patent of Ukraine 151535. МПК E21B 4/14. Prystrii dlia hidroudarnoho burinnia [Device for water hammer drilling]*. (Patent Ukrainy 151535).
18. Ihnatov, A.O., Askerov, I.K. (2022). *Patent of Ukraine 151571. МПК E21B 4/14. Hidroudarnyк dlia burinnia [Hydraulic hammer for drilling]*. (Patent Ukrainy 151571).

УДК 622.24.051

DOI: 10.33839/2708-731X-27-1-99-105

**Є.А. Коровяка**, канд. техн. наук; **М.Р. Мекшун**

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

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ КОРПУСІВ ГІДРОМОНІТОРНИХ БУРІВ З ОПТИМАЛЬНИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

*Визначено вплив параметрів термообробки сталей на їхню ударну в'язкість, а також оптимізація технологічних прийомів для забезпечення найкращих механічних властивостей гідромоніторних бурів.*

*У ході роботи встановлено, що ізотермічна обробка дозволяє підвищити значення ударної в'язкості сталі 35ХГСА до 69 Дж/см<sup>2</sup>, зберігаючи при цьому міцність корпусу гідромоніторного бура на рівні 50 HRC. Як режим термічної обробки для обраної сталі марки 35ХГСА було прийнято ізотермічне загартування в розплаві солі.*

*Максимальну міцність (зносостійкість) для сталі 35ХГСА можна отримати при низько- та середньотемпературних відпусках, причому для низькотемпературного відпуску сталі 35ХГСА характерне падіння ударної в'язкості. Тому для виготовлення гідромоніторного бура рекомендується вибирати сталь вітчизняного виробництва марки 35ХГСА.*

**Ключові слова:** *свердловина, гідромоніторний бур, ударна в'язкість, твердість сталі, загартування сталі.*

### **Вступ**

В процесі роботи гідромоніторний бур піддається впливу різних знакозмінних навантажень, наприклад, гідроудару. Присутність гідроудару при експлуатації гідромоніторних бурів з часом призводить до появи тріщин, течій, збоїв балансу тиску, серйозних проривів, аж до повного руйнування корпусу, що в умовах вибою свердловини призведе до серйозної аварії. Основним параметром, що впливає на здатність сталевго корпусу гідромоніторного бура витримувати знакозмінні навантаження, є ударна в'язкість.

З іншого боку, гідромоніторний бур піддається впливу частинок зруйнованої породи (шламу), які піддають корпус абразивному зношуванню. Основним параметром, що впливає на здатність сталевго корпусу гідромоніторного бура чинити опір абразивному зношуванню,