

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

УДК 622.243.95

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

А.О. Ігнатів, канд. техн. наук

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

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

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

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

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

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

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

характерних для реалізації свердловинних гідро(пневно)механічних методик, до яких, зокрема, відносяться: фізичний стан вибою свердловини, тип і параметри циркулюючого очисного агента, частота обертання механічного породоруйнівного органу, осьове навантаження на останній тощо. Переконавши доведено, що розроблені конструктивні схеми пристроїв гідро(пневно)механічного буріння, за оптимального виконання та режимно-технологічного відпрацювання, можуть бути рекомендовані до застосування у відповідних геолого-технічних умовах, де реалізація інших методів нерациональна або обмежена.

Техніко-технологічні принципи формування центральної й периферійної частин вибою є підлеглими чинниками, визначуваними самим виконанням пристроїв, режимним супроводженням останніх, а також необхідністю суворого дотримання певних параметрів для циркуляційного середовища, що в комплексі дозволить отримання раціонального процесу профілеутворення свердловини.

Основні результати лабораторних й аналітичних досліджень виступають відправним пунктом для раціонального й обґрунтованого проектування режимних параметрів процесу поглиблення свердловини за рахунок використання гідро(пневно)механічних пристроїв. Дані стосовно вивчення базових вибійних робочих процесів гідро(пневно)механічних технологій є вихідними положеннями для розробки оптимальних конструктивних і технологічних параметрів модернізованих кулеструминних пристроїв.

Ключові слова: гідро(пневно)механічне буріння, гірська порода, вибій, свердловина, очисний агент, породоруйнівні кулі, механічна швидкість поглиблення, поверхнево-активна речовина.

Постановка проблеми

Безумовною є та важлива обставина, що стан та рівень використання сировини (паливної, металургійної, хімічної, мінеральної тощо) багато в чому зумовлює економічну безпеку багатьох країн світу. Наша держава має потужну і розвинену мінерально-сировинну базу, яка дозволяє їй знаходитися в ряду провідних видобувних країн світу. Проте, для збереження названих позицій необхідно вести цілеспрямовані роботи, метою яких є пошук та розвідка, з подальшим експлуатаційним розробленням, покладів корисних копалин, і одну з центральних ролей тут відіграють бурові свердловинні технології [1].

Бурові розвідувальні й експлуатаційні роботи мають вирішальне значення для укріплення економічного потенціалу країни, забезпечення значного ряду виробничих галузей необхідними мінерально-сировинними ресурсами; вони є індикатором раціоналізації розміщення промислових підприємств, дозволяють розв'язувати цілий комплекс важливих питань стосовно дослідження й вивчення гірського масиву.

Необхідність спорудження бурових свердловин з'являється з моменту отримання орієнтовних відомостей про прояв корисних копалин, та зникає з повним відпрацюванням запасів покладу. Свердловинні технології також широко застосовуються в народному господарстві – для вирішення численних завдань, наприклад, при проведенні інженерно-геологічних досліджень. Саме названі обставини й обумовили виникнення значної кількості способів спорудження свердловин, і, як наслідок, різноманіття бурового технологічного інструменту та відповідного обладнання [2].

Хоча для певних різновидів корисних копалин умови їх залягання в надрах землі, якість і величина запасів, економічна доцільність експлуатації родовищ визначаються за допомогою застосування комплексних прийомів: проведення гірничо-розвідувальних виробок і бурових свердловин – однак, у зв'язку з більшою швидкістю проведення і значно меншою вартістю проходки, бурові свердловини мають більшу питому вагу. Слід зазначити також наступне: в більшості випадків (наприклад розвідка і видобуток вуглеводневої сировини, освоєння глибоких і надглибоких горизонтів) свердловинним технологіям немає альтернативи. Останнім часом все більшого розповсюдження набуває свердловинний видобуток тих

корисних копалин, які раніше належали виключно до класу отримання за допомогою капітальних гірничих виробок [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Процес спорудження свердловин, без конкретизації їх цільового призначення, супроводжується виконанням декількох технологічних циклів, серед яких найбільш характерними є такі (в логічній послідовності здійснення): руйнування гірських порід на вибої свердловини, видалення зруйнованої породи на поверхню, кріплення стовбуру означеної гірської виробки, побудова систем випробування та експлуатації продуктивних горизонтів [1].

З приведеного, дещо укрупненого, класифікаційного опису бурового процесу нескладно бачити, що провідну роль в утворенні свердловини відіграють все ж процеси руйнування гірського масиву [2].

Цикл руйнування гірських порід є доволі складним й багатофакторним, що і стало поштовхом для його, без перебільшення, широкомасштабного вивчення. Разом з тим, значна гама фізико-хімічних властивостей гірських порід, умов їх залягання, прояв різних геологічних явищ, генезис певного родовища, як об'єктивні фактори, чинять кардинальний вплив на хід та результати процесу руйнування гірських порід. В цілому прояв перелічених факторів обумовлює виникнення різних, за окремими технологічними ознаками, способів руйнування гірського масиву та їх постійне удосконалення [4].

Аналіз науково-виробничих джерел інформації доводить, що на даний час беззаперечне лідерство належить обертальному способу буріння, здійснення якого відбувається за допомогою достатньої кількості типів вибійного породоруйнівного інструменту. Однак обертальному способу притаманні деякі органічні вади, серед яких найяскравішою є порівняно незначний загальний коефіцієнт корисної дії, що стало причиною впровадження, наприклад, вибійних двигунів. Звертає на себе увагу також розгортання зусиль щодо удосконалення системи озброєння основного породоруйнівного інструменту обертального способу – бурових доліт. Значних успіхів вдалось досягти і в плані корінної модернізації силових і приводних бурових агрегатів, а також комплексів виконання операцій зі спуску та підйому бурового інструменту [5].

Масштабні пошуково-дослідні роботи науково-практичного плану довели, що обертальний спосіб не є універсальним і в окремих, доволі розповсюджених, геолого-технічних умовах, може бути з успіхом замінений більш ефективними способами, до яких, серед інших, належать фізичні та їх комбінування із чисто механічними. На заваді більш широкого впровадження альтернативних класичному обертальному способу методів комбінованого руйнування гірського масиву стає, окрім іншого, їх недостатня вивченість і адаптованість до конкретних свердловинних умов, створюваних також і геологічними чинниками. Саме тому потрібна активізація проведення теоретично-лабораторних робіт із вивчення особливостей протікання процесів руйнування гірського масиву за допомогою прийомів фізичного і комбінованого способів формування вибою свердловини [6].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Виходячи з необхідності пошуку та вивчення ефективних способів руйнування гірського масиву в тих умовах, де нині застосовувані технології буріння, із відповідним інструментальним забезпеченням, не відзначаються прийнятними техніко-економічними показниками, спеціалісти кафедри нафтогазової інженерії та буріння (НГІБ) Національного технічного університету (НТУ) «Дніпровська політехніка» сконцентрували свою увагу на проектуванні й дослідженні таких технологічних схем руйнування гірського масиву (та їх конструктивного оформлення), які реалізують собою найбільш продуктивні методи впливу

на вибір свердловини, причому останні відрізняються підвищеним ступенем динамічності дії на гірську породу [7].

В якості базового принципу було обрано так званий кулеструминний спосіб руйнування гірського масиву, проте він зазнав кардинальної трансформації, яка вилилась у створення ряду принципово інноваційних моделей снарядів узагальнено абразивно-механічного ударного буріння, які можна віднести до пристроїв комбінованої дії. Ударами куль, розігнаних до необхідної швидкості активними струменями циркулюючого агенту, утворюється лише центральна частина вибою свердловини, периферійна ж зона останньої – неминуче криволінійне оформлення якої є особливістю класичного кулеструминного способу буріння, що витиснула його з промислового застосування – оброблюється за допомогою запропонованих спеціальних механічних породоруйнівних органів, робочими елементами яких виступають також кулі або продукти їх руйнування [5].

Відмінність у характері реалізації схем обробки центральної й периферійної зон вибою свердловини (для кожної моделі пропонованих пристроїв) обумовлює необхідність диференційованого вивчення особливостей роботи їх, які визначаються оформленням приводного вузлу; геометричними розмірами й формою руйнівних куль та фізичним станом їх поверхні; типом та властивостями циркуляційного бурового агенту; конструктивним виконанням механічних породоруйнівних органів пристроїв та кількістю куль, яка одночасно приймає участь у формуванні різних частин вибою свердловини тощо [6].

Розроблювані пристрої відрізняють значні відмінності в характері впливу на гірський масив (за збереження загальної технологічної схеми формування вибою свердловини для кожного з них), що дозволяє їх вузьку спеціалізацію відносно конкретних геолого-технічних умов та є провідним чинником істотного зростання ефективності і економічності процесу спорудження свердловин, наприклад, в породах міцного комплексу.

Мета статті – детальний розгляд й аналітико-лабораторне обґрунтування конструктивних рішень в окремих вузлах модернізованих гідро(пневмо)механічних пристроїв та визначення на їх основі раціональних режимно-технологічних програм роботи останніх у конкретних геолого-технічних умовах споруджування свердловин різного призначення.

Обґрунтування вживання і опис вибраної автором методики

Основою вивчення особливостей функціонування модернізованих пристроїв гідро(пневмо)механічного буріння було використання комплексних аналітико-лабораторних методів. Дослідження елементарного акту руйнування гірських порід значної твердості (з урахуванням багатфакторності дії супутніх техніко-технологічних чинників) 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.

Процес розв’язання задач оптимального планування експерименту поділявся на такі етапи: складання моделі; підготовка необхідних вихідних даних; розрахунок моделі; отримання результатів [8].

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

Виклад основного матеріалу дослідження

Незважаючи на наявність постійної всебічної модернізації конструкторського й технологічного характеру, що впевнено прослідковується в галузі бурової справи у всьому її різноманітті прикладення, питання підвищення економічної ефективності процесів спорудження свердловин залишається відкритим. Пояснити останнє можна ускладненням

геолого-технічних умов проведення свердловин (насамперед, це збільшення глибин застосування та розширення номенклатури категорій корисних копалин), невідповідністю між потенційними можливостями інструментального забезпечення і наявного бурового обладнання, відсутністю досконалої індивідуалізації конкретних прогресивних прийомів та методів буріння (вказане особливо стосується процесів руйнування гірського масиву), суттєвим відставанням практики від теорії буріння [9].

Спираючись на ту об'єктивну обставину, що переважна більшість бурових робіт виконується за схемою обертального способу руйнування гірського масиву – корінна раціоналізація процесів спорудження свердловин може йти таким перспективним шляхом, як комплексування існуючого обертального способу (у всіх його особливостях) із прогресивними методами й прийомами; вказане дозволить уникнути необхідності радикальної перебудови всього технологічного циклу та виключити пов'язані з цим фінансові вкладення (або звести їх до мінімальних значень). Яскравим прикладом втілення зазначеного підходу є така, розглянута нижче, конструкція пневмомеханічного пристрою [10].

Вказаний пристрій для буріння свердловин, схематичне зображення якого представлено на рис. 1, укрупнено складається з корпусу 1, струминного апарату 2, породоруйнівних куль 3. Корпус у нижній частині оснащений коронкою 4, яка має в привибійній частині орієнтовані зубки з відповідними, виконаними на зовнішній поверхні коронки, глухими пазами 5, призначенням яких є надійне розташування та утримання породоруйнівних куль. Верхня частина корпусу 1 з'єднана з пневмоударником 6; функцією останнього є створення ударних імпульсів, які через корпус 1 передаються на коронку. Обертання пристрою, яке має лише підпорядковане значення, передається через перевідник 7, що з'єднується із колоною бурильних труб. Привод пневмоударника 6, який складається з основних конструктивних елементів: клапана 8, поршня 9, ковадла 10, здійснюється за допомогою стисненого повітря, що циркулює по колоні бурильних труб.

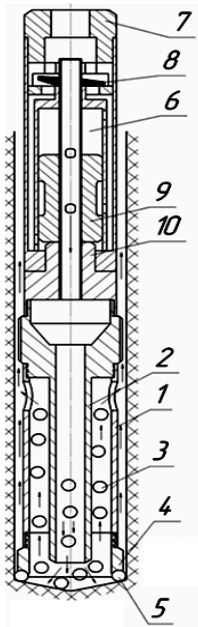


Рис. 1. Загальна схема пневмомеханічного пристрою для буріння свердловин

Представлений на рис. 1 пристрій працює у такий спосіб. При виникненні циркуляції стисненого повітря у внутрішній частині корпусу 1 пристрою починається активний рух породоруйнівних куль 3, що супроводжується руйнуванням породи вибоєм. В привибійній зоні потік стисненого повітря розділяється на дві складових, одна з яких разом із породоруйнівними кулями піднімається уверх до струминного апарату 2, а інша, збагачена продуктами руйнування, виходить в затрубний простір між торцем і зовнішньою поверхнею корпусу коронки 4 та вибоєм і стінками свердловини відповідно; цей потік також сприяє розміщенню в глухих орієнтованих пазах 5 породоруйнівних куль 3. Коронка 4 призначена виключно для формування ударно-обертальним методом прямокутного профілю вибоєм свердловини, за рахунок руйнування його криволінійних стінок, виникнення яких пов'язано із специфікою технологічної схеми буріння та призводить до зменшення механічної швидкості поглиблення або до його повного припинення. Ударні навантаження на коронку 4 передаються при включенні в роботу пневмоударника 6. Завдяки циркуляції стисненого повітря, що потрапляє через колону бурильних труб до перевідника 7 та відповідної роботи клапана 8, відбувається нанесення ударів поршнем 9 по ковадлу 10, яке з'єднується з корпусом 1. Утворений ударний імпульс передається через корпус 1 на зубчасту коронку 4 та породоруйнівні кулі 3. Крутий момент

на пристрій та зубчасту коронку 4 передається бурильною колоною. Постійне створення ударних імпульсів, обертання і належне виконання зубчастої коронки 4, а саме можливість участі в процесі руйнування декількох куль, забезпечують реалізацію якнайефективнішого ударно-обертального способу буріння при формуванні периферійної зони вибою. У вказаних умовах також досягається достатньо раціональний режим охолодження робочих елементів, що приймають участь в акті руйнування породи.

Використання в якості робочого середовища стисненого повітря створює умови для експлуатації пристроїв в свердловинах із поглинанням та втратою циркуляції промивної рідини, в яких неможливо забезпечити безперервну роботу звичайних кулеструминних пристроїв. Крім того, здійснення приводу пристрою за допомогою стисненого повітря дозволяє його застосування в районах з відсутністю безперешкодного водопостачання.

Хоча конструктивні й технологічні особливості модернізованих пристроїв передбачають роздільність циклів формування окремих частин вибою свердловини, сама форма реалізації розглядуваного способу є передумовою наявності їх взаємного впливу – особливо яскраво це проявляється за аналізу процесу утворення периферійної частини вибою свердловини [7, 11]. Інтерпретується вказане значною мірою зниження цілісності вибою свердловини, що є наслідком розвитку в останньому системи деформаційних порушень у вигляді тріщин, які суттєво скорочують рівень міцності гірського масиву; підтвердженням такого положення є дані рис. 2.

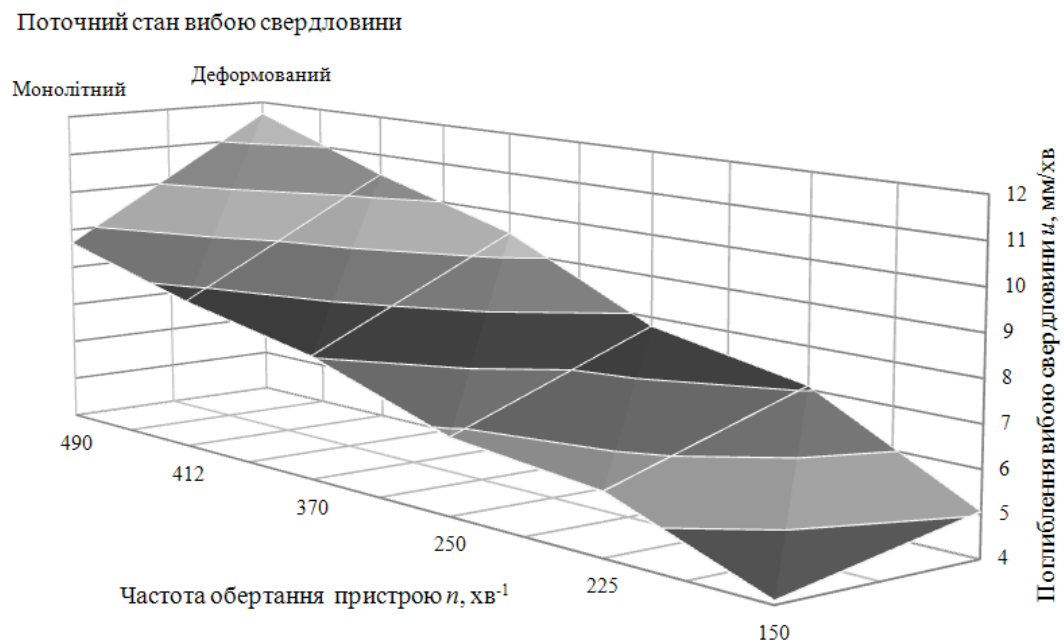


Рис. 2. Порівняльні залежності швидкості поглиблення свердловини від вибійних умов руйнування гірських порід

Дані рис. 2 переконливо свідчать про підпорядкованість результатів роботи гідромеханічного пристрою (швидкість поглиблення вибою модельної свердловини u) стану породного масиву та частоті обертання n вказаного пристрою. Більш детальний аналіз показує наступне: за $n \leq 250 \text{ хв}^{-1}$ спостерігається доволі повільне зростання показника u (який дещо вищий для деформованого стану вибою), але при $n > 250 \text{ хв}^{-1}$ швидкість u значно зростає, особливо інтенсивно за наявності порушень вибою.

Характерною особливістю гідромеханічного буріння є його значна динамічність (іншими словами – швидкість прикладення руйнівного навантаження v), що показово демонструється в утворенні на вибої свердловини розвинених лунок руйнування деякого

корисного об'єму V_p (на відміну, наприклад, від руйнування породи інструментом стираючої дії). Саме тому ефективність розглядуваного способу може бути підвищена за рахунок застосування спеціальних поверхнево-активних речовин (ПАР) [12], що відзначаються високою здатністю до проникнення в деформаційні тріщини, результатом чого стане подальше розвинення руйнівних процесів. Дані рис. 3 виступають підтвердженням висунутого теоретичного положення.

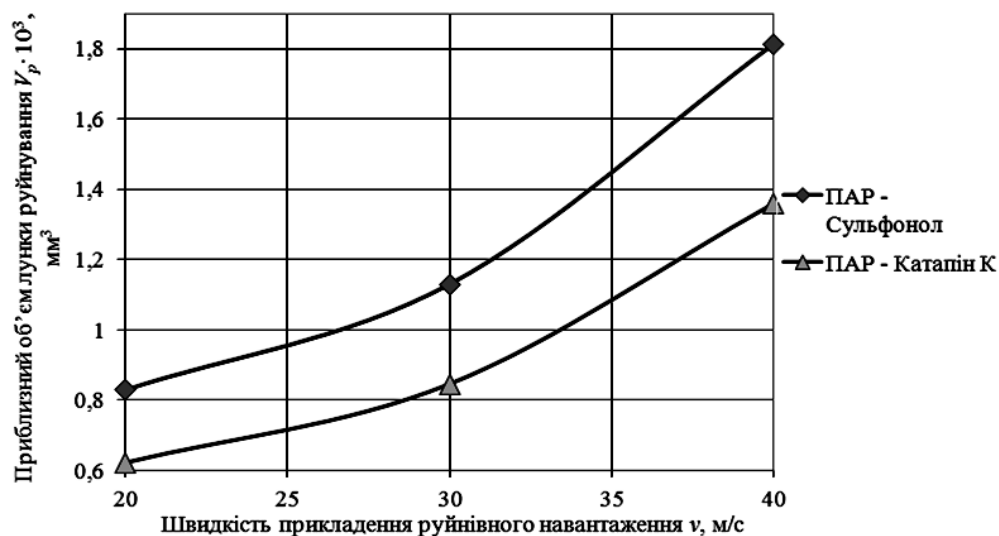


Рис. 3. Особливості протікання процесу руйнування центральної частини вибою модельної свердловини гідромеханічного буріння за умов застосування в складі очисних агентів ПАР

З даних рис. 3 нескладно побачити, що наявність ПАР в складі бурового розчину (в даному випадку технічної води) чинить істотний вплив на результати взаємодії куль із породним вибоєм, який проявляється в збільшенні об'єму зруйнованої породи (V_p), причому походження ПАР також суттєвим чином визначає підсумки руйнівних процесів. Певні характеристичні дані стосовно особливостей роботи породоруйнівних куль на вибої свердловини містить табл. 1.

Таблиця 1. Характеристики процесу контактної взаємодії куль із гірським масивом (на прикладі крупнозернистого граніту)

Швидкість прикладення руйнівного навантаження v , м/с	Стан породного масиву	Приблизний об'єм лунки руйнування $V_p \cdot 10^3$, мм ³	
		Технічна вода	Технічна вода, оброблена ПАВ сульфонол
20–40	монолітний	1,077	1,258
20–40	деформований	1,12	1,415

Зіставляючи між собою дані рис. 3 і табл. 1, можна побачити існування стійкого взаємозв'язку між вихідними умовами руйнівних процесів та результатами останніх, міра ефективності яких є наслідком прояву наявності порушень вибою свердловини (тріщин) та фізико-хімічних властивостей конкретного очисного агента.

Корегування технологічних параметрів циркуляційного середовища впливає також і на закономірності протікання процесів формування периферійної частини вибою свердловини, що видно з даних рис. 4.

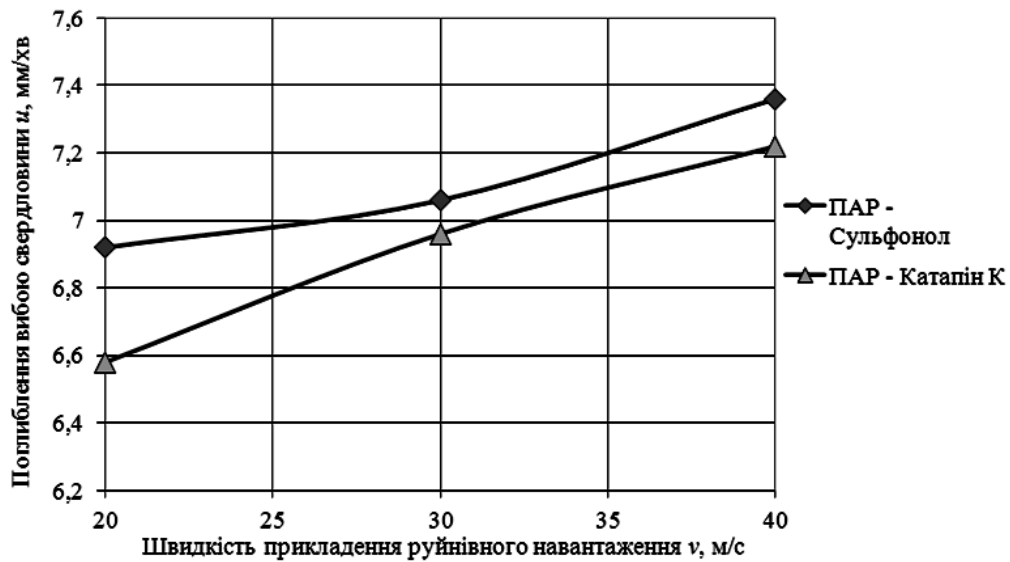


Рис. 4. Особливості протікання процесу формування периферійної частини вибою модельної свердловини гідромеханічного буріння за умов застосування в складі очисних агентів ПАР

Аналіз даних рис. 4 також доводить присутність впливу на результати руйнівних процесів, в периферійній частині вибою, ПАР. Причому наслідки зазначеного впливу дещо відрізняються від таких, що характерні для центральної частини вибою, в бік зменшення масштабності, що говорить про суттєву відмінність окремих властивостей руйнівних процесів в різних частинах вибою свердловини, реалізованих за допомогою проєктованих пристроїв.

Подальший розвиток вивчення особливостей руйнівних процесів в периферійній частині вибою свердловини представлено в даних табл. 2.

Таблиця 2. Особливості процесу контактної взаємодії куль із гірським масивом в периферійній частині вибою свердловини (на прикладі крупнозернистого граніту)

Стан породного масиву	Осьове навантаження на механічний породоруйнівний орган пристрою С, Н/мм ²		
	2–4	2–4	2–4
	Частота обертання породоруйнівного органу пристрою n , хв ⁻¹		
	225	260	370
	Середня швидкість поглиблення вибою свердловини u , мм/хв		
монолітний	5,5	5,85	6,9
деформований	7,08	7,76	9,3

Дані табл. 2 беззаперечно свідчать про залежність наслідків прояву руйнівних процесів від режимно-технологічних параметрів, що реалізуються на механічному породоруйнівному органі проєктованих пристроїв, та фізичного стану породного масиву.

Таким чином, пропоновані модифікації пристроїв гідро(пневмо)механічного буріння, за оптимального технічного та технологічного супроводження, можуть бути рекомендовані до застосування у відповідних геолого-технічних умовах, де реалізація інших широко застосовуваних методів та прийомів нераціональна або обмежена незначними техніко-економічними показниками.

Висновки

1. На підставі вивчення широкого кола літературних джерел, комплексного аналізу промислових та лабораторних даних визначено основні шляхи раціоналізації та оптимізації свердловинних гідро(пневмо)механічних технологій, результатом чого, серед іншого, також стала розробка ефективної конструкції відповідного пристрою.

2. Докладно показано, що форма реалізації розглядуваного способу є передумовою наявності взаємного впливу механізмів формування різних частин вибою свердловини; особливо яскраво означене проявляється в розвитку в останньому системи деформаційних порушень у вигляді тріщин, які суттєво скорочують рівень міцності гірського масиву.

3. Переконливо доведено наступне: присутність поверхнево-активних речовин (ПАР) в складі бурового розчину чинить істотний вплив на результати взаємодії куль із породним вибоєм, який проявляється в збільшенні об'єму зруйнованої породи (V_p), причому наявність та походження ПАР також суттєвим чином визначає підсумки руйнівних процесів в периферійній частині вибою свердловини.

4. Подальші аналітичні й експериментальні дослідження особливостей реалізації принципів гідро(пневмо)механічного буріння та робочих характеристик відповідних пристроїв необхідно продовжувати у напрямках розробки раціональних параметрів їх режимно-технологічного супроводження з максимальною адаптацією до конкретних гірничо-геологічних й економічних умов.

A.O. Ihnatov

Dnipro University of Technology, Ukraine

ESTABLISHMENT OF THE BASIC PRINCIPLES OF FUNCTIONING OF INDIVIDUAL UNITS OF DEVICES FOR HYDRO(PNEUMATIC)MECHANICAL DRILLING

A detailed consideration of existing and analytical and laboratory substantiation of innovative design solutions in individual units of the modernized hydro(pneumatic)mechanical devices was carried out. Determination of rational regime and technological programs for the operation of devices in specific geological and technical conditions for the construction of wells for various purposes was done on the basis of the indicated solutions.

Experimental and theoretical studies of the elementary act of rocks destruction of significant hardness (taking into account the multifactorial action of the accompanying technical and technological factors) was carried out using modern methods of analytical analysis and research, in particular methods of mathematical and physical modeling, modeling techniques and processing of research results in SolidWorks, STATGRAPHICS, MATSAD environment, instrumentation and materials.

The course of borehole rock-cutting processes was simulated on a special laboratory bench equipped with a control and measuring unit (flow meter, pressure gauge, tachometer, coordinator).

The basic directions of improving the principles and schemes for the implementation of downhole technologies are formulated on the example of hydro(pneumatic)mechanical drilling. The main design characteristics of the modernized innovative pneumomechanical device for drilling wells for various purposes are considered. The indicated device combines the most productive and effective methods of influencing the rock mass. A number of defining technical, technological and operating factors, typical for the implementation of downhole hydro(pneumatic)mechanical methods, have been identified and investigated. The factors noted, in particular, include: the physical state of the well bottom, the type and parameters of the circulating cleaning agent, the rotational speed of the mechanical rock-cutting body and the axial load on the latter. It has been convincingly proven that the developed design diagrams of devices for hydro(pneumatic)mechanical drilling, with optimal performance and operational and technological development, can be recommended for use in the appropriate geological and technical conditions, where the implementation of other methods is irrational or limited.

The technical and technological principles of the formation of the central and peripheral parts of the bottomhole are subordinate factors determined by the very design of the devices, the regime support of the

latter, as well as the need to strictly adhere to certain parameters for the circulating environment. This, in combination, will allow obtaining a rational process of well profile formation.

The main results of laboratory and analytical studies are the starting point for rational and reasonable design of the operating parameters of the well deepening process through the use of hydro(pneumatic)mechanical devices. The data on the study of the basic downhole working processes of hydro(pneumatic)mechanical technologies are the starting points for the development of optimal design and technological parameters of the modernized pellet impact drilling devices.

Key words: hydro(pneumatic)mechanical drilling, rock, bottomhole, well, cleaning agent, rock destruction balls, mechanical speed of the deepening, surfactant.

А.А. Игнатов

Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», г. Днепр, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БАЗОВЫХ ПРИНЦИПОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ УСТРОЙСТВ ГИДРО(ПНЕВМО)МЕХАНИЧЕСКОГО БУРЕНИЯ

Проведено детальное рассмотрение существующих и аналитико-лабораторное обоснование инновационных конструктивных решений в отдельных узлах модернизированных гидро(пневмо)механических устройств, а также определение на их основе рациональных режимно-технологических программ работы последних в конкретных геолого-технических условиях сооружения скважин различного назначения.

Экспериментальные и теоретические исследования элементарного акта разрушения горных пород значительной твердости (с учетом многофакторности действия сопутствующих технико-технологических факторов) выполнены с применением современных методов аналитического анализа и исследований, в частности путем использования методов математического и физического моделирования, методик моделирования и обработки результатов исследований в среде SolidWorks, STATGRAPHICS, MATHCAD, контрольно-измерительных приборов и материалов.

Ход скважинных породоразрушающих процессов моделировался на специальном лабораторном стенде, оборудованном контрольно-измерительным блоком (расходомер, манометр, тахометр, координатник).

Сформулированы базовые направления совершенствования принципов и схем реализации скважинных технологий на примере гидро(пневмо)механического бурения. Рассмотрены основные конструктивные характеристики модернизированного инновационного пневмомеханического устройства для бурения скважин различного назначения. Обозначенное устройство комбинирует в себе наиболее производительные и эффективные методы воздействия на породный массив. Обозначен и исследован ряд определяющих технико-технологических и режимных факторов, характерных для реализации скважинных гидро(пневмо)механических методов. К отмеченным факторам, в частности, относятся: физическое состояние забоя скважины, тип и параметры циркулирующего очистного агента, частота вращения механического породоразрушающего органа, осевая нагрузка на последний. Убедительно доказано, что разработанные конструктивные схемы устройств гидро(пневмо)механического бурения, при оптимальном выполнении и режимно-технологической отработке, могут быть рекомендованы к применению в соответствующих геолого-технических условиях, где реализация других методов нерациональна или ограничена.

Технико-технологические принципы формирования центральной и периферийной частей забоя являются подчиненными факторами, определяемыми самим исполнением устройств, режимным сопровождением последних, а также необходимостью строгого соблюдения определенных параметров для циркуляционной среды. Указанное, в комплексе, позволит получение рационального процесса профилеобразования скважины.

Основные результаты лабораторных и аналитических исследований выступают отправным пунктом для рационального и обоснованного проектирования режимных параметров процесса углубки скважины за счет использования гидро(пневмо)механических устройств. Данные по изучению базовых забойных рабочих процессов гидро(пневмо)механических технологий являются исходными

положеннями для розробки оптимальних конструктивних і технологічних параметрів модернізованих шароструйних пристроїв.

Ключевые слова: гидро(пнеumo)механическое бурение, горная порода, забой, скважина, очистной агент, породоразрушающие шары, механическая скорость углубки, поверхностно-активное вещество.

Література

1. Войтенко В., Вітрик В. Технологія і техніка буріння. – Київ: Центр Європи, 2012. – 708 с.
2. Azar J.J., Robello S.G. Drilling Engineering. – PennWell Books, 2007. – 486 p.
3. Lopez J.C., Lopez J. E., Javier F. Drilling and blasting of rocks. – CRC Press Taylor & Francis, 2017. – 408 p.
4. Hossain M.E. Fundamentals of drilling engineering. – Wiley & Sons, Incorporated, John, 2016. – 736 p.
5. Давиденко А.Н., Ратов Б.Т., Пащенко А.А., Игнатов А.А. Влияние гидростатического давления на ударное абразивно-механическое бурение скважин. – Алматы: Каспийский общественный университет, 2018. – 171 с.
6. Давиденко А.Н., Игнатов А.А. Абразивно-механическое ударное бурение скважин. – Дніпропетровськ: Держ. вищ. навч. закл. «Нац. гірн. ун-т», 2013. – 110 с.
7. Ihnatov A.O., Koroviaka, Ye.A., Pinka, J., Rastsvietaiev V.O., Dmytruk O. O. Geological and mining-engineering peculiarities of implementation of hydromechanical drilling principles // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2021. – V. 1. – P. 11–18.
8. Curry G.L., Feldman R.M. Manufacturing systems. Modeling and analysis. – Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2012. – 338 p.
9. Игнатов А.О. До питання визначення вибірних робочих характеристик пристроїв гідромеханічного буріння // Інструментальне матеріалознавство: зб. наук. пр. – Вип. 23. – Київ: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2020. — С. 78–88.
10. Пат. 109274 Україна МПК E21B 7/18. Пристрій для буріння / А.О. Ігнатов. – Заявл. 22.10.2012; Опубл. 10.08.2015, Бюл. № 15.
11. Ihnatov, A., Koroviaka, Y., Rastsvietaiev, V. & Tokar, L. (2021). Development of the rational bottomhole assemblies of the directed well drilling / IV International Scientific and Technical Conference “Gas Hydrate Technologies: Global Trends, Challenges and Horizons” (GHT 2020) // E3S Web of Conferences. – 2021. – V. 230. – 01016.
12. Sharma, K.K., & Sharma L.K. A textbook of physical chemistry. – Vikas Publishing, 2016. – 880 p.

Надійшла 16.07.21

References

1. Voitenko, V., & Vitryk, V. (2012). *Tekhnolohiia i tekhnika burinnia [Technology and technique of the drilling]*. – Kyiv: Tsentr Yevropy [in Ukrainian].
2. Azar, J.J., & Robello, S.G. (2007). *Drilling Engineering*. PennWell Books.
3. Lopez, J.C., Lopez, J. E., & Javier, F. (2017). *Drilling and blasting of rocks*. CRC Press Taylor & Francis.
4. Hossain, M.E. (2016). *Fundamentals of drilling engineering*. Wiley & Sons, Incorporated, John.

5. Davydenko, A.N., Ihnatov A.A., & Polyshchuk, P.P. (2016). *Transportirovka produktov razrusheniya pri burenii skvazhin* [Transporting of rock destruction at well drilling]. – Dnipropetrovsk: Derzh. vyshch. navch. zakl. «Nats. hirn. un-t» [in Russian].
6. Davidenko, A.N., & Inatov, A.A. (2013). *Abrazivno-mekhanicheskoe udarnoe burenie skvazhin* [Abrasive mechanical percussion well drilling]. – Dnipropetrovsk: Derzh. visch. navch. zakl. «Nats. girn. un-t» [in Russian].
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. Curry, G.L. & Feldman, R.M. (2012). *Manufacturing systems. Modeling and analysis*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
9. Ihnatov, A.O. (2020). Do pytannia vyznachennia vybiinykh robochykh kharakterystyk prystroiv hidromekhanichnoho burinnia [To the question into determination of coalface working descriptions devices of the hydromechanics drilling]. *Instrumentalne materialoznavstvo - Tooling materials science*, 23, 78–88 [in Ukrainian].
10. A.O. Ігнатов. (2015). Patent of Ukraine 109274.
11. Ihnatov, A., Koroviaka, Y., Rastsvietaiev, V. & Tokar, L. (2021). Development of the rational bottomhole assemblies of the directed well drilling. IV International Scientific and Technical Conference “Gas Hydrate Technologies: Global Trends, Challenges and Horizons” (GHT 2020). *E3S Web of Conferences*, 230, 01016.
12. Sharma, K.K., & Sharma L.K. (2016). *A textbook of physical chemistry*. Vikas Publishing.

УДК 622.245.4

DOI: 10.33839/2708-731X-24-1-87-102

А.О. Ігнатов¹, Є.М. Ставичний², кандидати технічних наук

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,
пр. Дмитра Яворницького, 19, 49027, м. Дніпро, Україна, e-mail: A_3000@i.ua

²ПАТ «Укрнафта», Несторівський пров., 3-5, 04053, Київ, Україна, e-mail: stavichniy@i.ua

ГЕОЛОГІЧНІ Й ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КРІПЛЕННЯ НАФТОГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН З УРАХУВАННЯМ ФІЗИКО-ХІМІЧНОГО СТАНУ ЇХ СТОВБУРІВ

Стаття присвячена лабораторно-аналітичним аналізу і дослідженню засадничих чинників підвищення надійності проведення робіт з кріплення свердловин, за умови їх проведення в товщі хомогенних відкладень, на прикладі родовищ Дніпровсько-Донецької западини, здійсненим шляхом глибокого вивчення і інтерпретації фактичного промислового матеріалу споруджування свердловин в складних геолого-літологічних умовах.

Комплексними лабораторними і аналітичними прийомами досліджено особливості проведення циклу кріплення свердловин, відповідні обставинам, характерним для хомогенних відкладень Дніпровсько-Донецької западини; оцінений вплив технологічних параметрів і агресивних середовищ на хід і результати формування цементного каменю у свердловинних і модельних умовах.

Визначені основні напрями вдосконалення технологічних прийомів і методів кріплення свердловин в складних геолого-літологічних умовах. Шляхом аналізу фазового складу продуктів гідратації лабораторних і промислових зразків цементного каменю показано існування об'єктивного негативного впливу на його експлуатаційні властивості типових представників класу хомогенних відкладень. На підставі фактичних виробничих даних уточнені відомості про явище каверноутворення в хомогенних відкладеннях стовбура свердловини. Розглянуто особливості впливу активних шламів кавернозних інтервалів на показники схоплювання тампонажних розчинів. Вивчено явище водовіддачі