

# Наука — виробництву

УДК 622.24.06

## ОБҐРУНТУВАННЯ ВПЛИВУ ПРОМИВАЛЬНОЇ РІДИНИ, ОБРОБЛЕНОЇ ЕЛЕКТРИЧНИМ СТРУМОМ, НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД У ПРОЦЕСІ БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН

О.М. Давиденко, П.П. Поліщук

ДВНЗ «Національний гірничий університет»; 49027, м. Дніпропетровськ, пр-кт Карла Маркса, 19,  
тел. (0562) 466346, e-mail: p a v e l 2 5 @ i . u a

*У процесі спорудження свердловин та виконання бурових робіт для найбільш повної відповідності вимогам технології буріння в конкретних геолого-технічних умовах пропонується електрохімічна обробка промивальної рідини постійним електричним струмом, що дасть змогу змінювати значення рН рідини в широких межах (від 3 до 10). Описано вплив зміни значення рН на властивості бурових розчинів. Подаються результати експериментальних досліджень впливу на фізико-механічні властивості твердих гірських порід промивальної рідини електрохімічно обробленої постійним електричним струмом. Обґрунтовано вплив значення водневого показника рН на ефективність зниження міцності гірських порід та їх руйнування в місцях контактування поверхні породи, промивальної рідини і породоруйнівного інструменту.*

Ключові слова: промивна рідина, електрохімічна обробка, адсорбція, водневий показник рН.

*В процессе сооружения скважин и выполнения буровых работ для наиболее полного соответствия требованиям технологии бурения в конкретных геолого-технических условиях предлагается электрохимическая обработка промывочной жидкости постоянным электрическим током, что позволит изменять значение рН жидкости в широких пределах (от 3 до 10). Описано влияние изменения значения рН на свойства буровых растворов. Представлены результаты экспериментальных исследований влияния на физико-механические свойства твердых горных пород промывочной жидкости электрохимически обработанной постоянным электрическим током. Обосновано влияние значения водородного показателя рН на эффективность снижения прочности горных пород и их разрушение в местах контактирования поверхности породы, промывочной жидкости и породоразрушающего инструмента.*

Ключевые слова: промывочная жидкость, электрохимическая обработка, адсорбция, водородный показатель рН.

*Electrochemical processing of the drilling fluid by direct current which allows to change liquid pH to a great extent (from 3 to 10) may be implemented in the process of wells construction and drilling operations performance in order to fulfill the drilling technology requirements under the specific geological and technical conditions. The influence of the pH value changes on the drilling fluids' properties is described in the article. The article represents the results of experimental studies of the washing liquid, which was electrochemically processed by the direct current, on the physical and mechanical properties of solid rocks. The influence of pH on the rocks strength reduction rate and their fracturing during the contact among the rock surface, drilling fluid and rock cutting tool is reasoned in a given article.*

Keywords: circulating fluid, electrochemical treatment, adsorption, pH.

Вибір методу обробки бурового розчину полягає в досягненні такої відповідності властивостей промивальної рідини геолого-технічним умовам, за якої виключаються або зводяться до мінімуму порушення стінок свердловини, поглинання або інші ускладнення процесу буріння. Буровий розчин вибирають з урахуванням класифікації гірських порід: за стійкістю у процесі буріння; за механізмом порушення цілісного стану; за чутливістю до фізичного та хімічного впливу бурових розчинів. Характер та інтенсивність взаємодії бурового розчину з

пробурюваними гірськими породами, визначаються походженням і складом дисперсного середовища промивальної рідини.

Дисперсійним середовищем для бурових розчинів на водній основі є вода – найбільш поширена сполука, що має дуже важливе значення в різноманітних процесах живої і неживої природи та практичної діяльності людини. Через наявності у молекулі двох різних пар електронів вода є дуже хімічно активною сполукою. Вона розчиняє багато неорганічних і органічних речовин.

Електричні властивості бурових розчинів досліджено ще недостатньо, що зумовлено, очевидно, багатоконпонентним складом цих дисперсій. Однак у промисловості вже широко використовують технологічні процеси, здійснення яких стало можливим тільки завдяки наявності електричних властивостей в дисперсних системах.

На даний час добре відомо, що вода є слабким електролітом і тому незначною мірою піддається самовільній, спонтанній дисоціації. У водних розчинах наявна не лише дисоціація молекул самої води, а й дисоціація домішок, розчинених у ній. Досліджуючи процес дисоціації чистої води, яка не містить розчинених в ній речовин, маємо справу з аномальною рухливістю іонів водню  $H^+$  та гідроксиду  $OH^-$ , що свідчать про особливий механізм їх руху та формування подвійного електричного шару на межі розділу фаз [1]. Це явище викликає значний інтерес як можливість вирішення як практичних, так і прикладних задач в бурінні.

Дію постійного електричного струму може бути використано для регулювання структурно-механічних властивостей бурових розчинів, збагачення та поліпшення якості глин, зміцнення стінок свердловин, звільнення прихопленого інструменту та інших цілей [2, 3].

Розглянемо структуру процесу обробки рідини постійним електричним струмом, так званої електрохімічної обробки. Як було зазначено вище, вода частково самовільно дисоціює на іони водню  $H^+$  та гідроксиду  $OH^-$ , які в однаковій кількості знаходяться в одиниці об'єму дисоційованої води і особливих властивостей не виявляють. Проте картина зміниться, якщо на дисоційовану воду накласти електричне поле, яке утворюється внаслідок проходження постійного електричного струму через електроди електрохімічної системи. У цьому випадку іони дисоційованої води переміщатимуться: іон гідроксиду  $OH^-$  – до анода, а іон водню  $H^+$  – до катода. Таким чином, у досить чисельному електричному полі відбудеться розподіл іонів дисоційованої води – поблизу катода утворюється кислотна фракція, де будуть переважати надлишкові протони  $H^+$ , а поряд з анодом – лужна з переважанням іонів гідроксиду. Проте, якщо вчасно не видалити воду, що накопичилася біля електродів, то за порівняно короткий час внаслідок дифузії розподіл на кислотну та лужну фракції припиниться й відбудеться взаємокомпенсація протилежно заряджених іонів.

Обробка постійним електричним струмом промивальної рідини як процес здійснюється в умовах мінімального виділення тепла електрохімічного і електрофізичного впливів на воду з іонами і молекулами розчинених речовин, що містяться в області її просторового заряду на поверхні електрода (анода чи катода) електрохімічної системи при нерівноважному перенесенні заряду через границю «електрод-електроліт» електронами [4].

Після проведення обробки електричним струмом рідина переходить в метастабільний, так званий активований стан, який характери-

зується аномальними значеннями фізико-хімічних параметрів, у тому числі окислювально-відновного потенціалу, пов'язаного з активністю електронів у воді, електропровідності, водневого показника рН, поверхневого натягу та інших параметрів і властивостей. Мимовільно змінюючись в часі, змінені попереднім зовнішнім впливом електричного струму параметри і властивості рідини, поступово досягають початкових рівноважних значень внаслідок релаксації.

Зазначимо також, що електрохімічна обробка рідини постійним електричним струмом дозволяє змінювати значення водневого показника рН від 3 (що відповідає кислотній фракції) до 10 (лужна фракція). Тобто промивальна рідина набуває властивостей кислоти або лугу, не будучи такою за хімічним складом.

У бурових промивальних рідинах концентрація водневих іонів може змінюватися в широких межах. Ступінь кислотності або лужності бурових розчинів істотно впливає на прояв ними інших властивостей. Так, змінюючи величину рН, можна змінювати реологічні і фільтраційні властивості, інгібуючу здатність бурових розчинів, їх седиментаційну стійкість та ін. Величина рН також впливає на розчинність неорганічних реагентів (солей) і ефективність дії полімерних реагентів. При цьому оптимальні значення рН знаходяться, як правило, в діапазоні від 9 до 11.

Однак для лужних середовищ із зростанням рН збільшується ймовірність [5]:

- порушень стійкості стінок свердловин, складених глинистими породами, за рахунок їх додаткового зволоження в результаті інтенсифікації електроосмотичних процесів;
- хімічного диспергування (пептизації) глинистих порід, що ускладнює їх видалення з бурового розчину, викликаючи тим самим зростання його щільності, в'язкості і статичної напруги зсуву;
- зниження природної проникності продуктивних піщано-глинистих колекторів через зменшення розмірів порових каналів, обумовленого набряканням глинистої складової продуктивних пластів, а також через закупорювання цих каналів мігруючими в них глинистими частинками.

Для визначення впливу на фізико-механічні властивості твердих гірських порід при обробці їх промивальною рідиною, яка зазнала електрохімічного впливу постійного електричного струму, були проведені експериментальні дослідження на установці УМП-3 методом статичного вдавлювання металевого штампа (індентора) в зразки, представлені кернами матеріалом середньозернистого граніту. Досліджувана поверхня зразків ділилася на чотири рівних сектори. Перший сектор залишався в необробленому, сухому стані. Другий – змочувався відносно нейтральною водопровідною водою (рН = 6,5). Третій і четвертий сектори оброблялися кислотною і лужною рідиною з рН = 3 і рН = 10 відповідно, отриманою шляхом електрохімічної обробки рідини постійним

струмом. У кожному секторі проводилося вдавлювання металевого індентора із подальшою побудовою графіків на одному аркуші. При аналізі отриманих графічних залежностей навантаження від занурення штампа (деформації) визначено такі параметри: найбільше навантаження  $P_p$  (кН), за якого відбувається крихке руйнування гірської породи; твердість за штампом  $p_{ш}$  (кН/мм<sup>2</sup>), що обчислюється як відношення найбільшого навантаження до площі штампа; питома об'ємна робота руйнування  $A_v$ , яка визначається діленням загальної роботи  $A_p$ , витраченої до моменту руйнування, на об'єм лунки  $V_p$ , що утворилася в процесі руйнування. У ході обробки даних облік вівся за середньозваженим значенням величин, отриманих під час випробувань.

Результати експериментальних досліджень свідчать про те, що вплив кислотної складової електрохімічно обробленої рідини дозволяє знизити величину навантаження, за якої відбувається руйнування породи, всередньому на 7÷8%, а вплив лужної складової – відповідно на 9÷10% порівняно з впливом рідини, не обробленої електричним струмом. Водночас при використанні лужної фракції рідини спостерігається значне зменшення величини питомої об'ємної роботи руйнування. В середньому воно складає 22÷24%, а в окремих випадках – до 40%, що в свою чергу, повинно забезпечити підвищення механічної швидкості та ефективності буріння. Також як наслідок знижується знос бурових доліт та інструменту при бурінні гірських порід.

На нашу думку, зниження величини навантаження, за якої відбувається руйнування породи, з одночасним зменшенням величини питомої об'ємної роботи руйнування досягається внаслідок ефекту адсорбційного зниження міцності твердих тіл. Згідно з енергетичним трактуванням ефект зменшення міцності характеризується зниженням роботи на утворення нових поверхонь в твердому тілі у процесі деформації і руйнування під впливом формування на них адсорбційного шару. За силовим трактуванням проникнення адсорбційного шару по поверхні дефекту (мікротріщини), що розвивається, пов'язане з виникненням розсувного зусилля.

Адсорбційне зниження твердості відбувається внаслідок підвищення спорідненості породи, що руйнується, до промивної рідини. Це проявляється в інтенсивному зв'язуванні водних (гідратних) оболонок на внутрішній поверхні мікросцілин або їх устях. Утворення водних оболонок на поверхнях твердого тіла та зміна їх товщини може відбуватися при зміні концентрації позитивно або негативно заряджених іонів (іони водню  $H^+$  та гідроксиду  $OH^-$ ), які можуть адсорбуватися на поверхні твердого тіла з утворенням так званого подвійного електричного шару. Такий шар складається з двох частин: адсорбційного шару, пов'язаного з поверхнею, і рухомого – дифузного шару. До адсорбційного шару входять іони однойменного знаку – негативні іони (аніони) або позитивні іони (катіони) і частина протилежно заряджених

іонів. Решта надлишкових протилежно заряджених іонів, необхідних для дотримання загальної електронейтральності, утворюють дифузний шар (іонну атмосферу), щільність якого з віддаленням від поверхні поступово зменшується.

Падіння електричного потенціалу в дифузній частині подвійного шару, тобто різниця потенціалів між нерухомим адсорбційним шаром та зовнішньою границею дифузної оболонки, є електрокінетичним потенціалом твердої поверхні в даній рідині й характеризує її заряд. При дуже малих концентраціях дисоційованих іонів нерухомий адсорбційний шар ненасичений. Підвищення концентрації іонів у рідині викликає адсорбцію їх з однойменно зарядженими іонами адсорбційного шару. При цьому відбувається перехід відповідної кількості протіонів із рідини в дифузний шар. Цей процес супроводжується збільшенням електрокінетичного потенціалу поверхні твердого тіла.

Дифузний шар іонів зв'язує з поверхнею велику кількість води, яка міститься в цьому шарі. Тому утворення дифузного подвійного шару на поверхні значно збільшує товщину зв'язаного з нею гідратної оболонки, особливо за рахунок гідратованих іонів, які утворюють дифузний шар. Рівень гідратації поверхні за рахунок подвійного шару певною мірою характеризується величиною електрокінетичного потенціалу.

Одночасно з утворенням подвійного електричного шару іони дисоційованої води можуть вступати в обмінну адсорбцію з іонами поверхні твердого тіла. При цьому відбуватиметься підвищення інтенсивності взаємодії поверхні з водою (збільшення гідрофільності). Так, наприклад, повинна діяти лужна складова електрохімічно обробленої рідини на карбонатні породи. На поверхні цих гірських порід будуть адсорбуватися аніони  $OH^-$ , а в дифузійний шар переходитимуть протилежно заряджені іони. Одночасно з адсорбцією іонів у подвійному шарі відбувається обмін аніонами  $CO_3^{2-}$  та  $OH^-$  в безпосередній близькості біля поверхні породи, що також підвищує гідрофільність поверхні. З підвищенням концентрації така обмінна адсорбція сама по собі призводить до безперервного збільшення ефективності зменшення міцності до визначеного значення, яке відповідає насиченню шару. Тобто маємо прямий зв'язок між концентрацією іонів водню  $H^+$  та гідроксиду  $OH^-$ , що виражається через значення водневого показника рН, та ефективністю зниження міцності гірських порід при проведенні руйнування в зоні контакту поверхні породи, промивальної рідини та породоруйнівного інструменту.

## Висновки

Викладене вище переконливо доводить, що слід дуже ретельно підходити до процесу регулювання значення рівня рН очисних агентів, зважаючи на геолого-технічні умови проведення бурових робіт і цільове призначення сверд-

ловини. Промивальну рідину, оброблену постійним електричним струмом, внаслідок чого досягається зміна її водневого показника рН у досить широких межах, можна застосовувати з метою підвищення техніко-економічних показників процесу буріння свердловин.

### *Література*

1 Коровкин Н.В. Электрохимическая энергетика / Коровкин Н.В. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 264 с.

2 Кирич Л.В. Воздействие активационной обработки на эксплуатационные характеристики глинистых дисперсий, применяемых в нефтедобыче: дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук по спец. 02.00.11 / Кирич Леонид Валентинович. – Казань, 2004. – 149 с.

3 Мариампольский Н.А. Перспективы использования электроактивации сред в нефтегазодобывающей промышленности / Н.А. Мариампольский, Е.В. Осипов, С.А. Рябоконь Книга тезисов второго совещания по электрохимической активации. – Казань, 1986. – С. 49–52.

4. Герловин Л.И. Основы единой теории всех взаимодействий в веществе / Л.И. Герловин. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 427 с.

5 Овчинников В.П. Буровые промывочные жидкости: учеб. пособие для вузов / В.П. Овчинников, Н.А. Аксенова. – Тюмень: Изд-во «Нефтегазовый университет», 2008. – 309 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії*

*12.11.11*

*Рекомендована до друку професором  
Коцкуличем Я.С.*