

© А.В. Павличенко¹, Є.А. Коров'яка¹, О.Б. Марцинків²,
А.О. Ігнатів¹, Д.О. Васильченко¹, І.К. Аскеров¹

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

²Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, Україна

ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ОЗНАКИ ЦИКЛУ СПОРУДЖЕННЯ СВЕРДЛОВИН У МЕТОДАХ ВИЛУГОВУВАННЯ КОРИСНИХ КОПАЛИН

© A. Pavlychenko¹, Ye. Koroviaka¹, O. Martsynkiv²,
A. Ihnatov¹, D. Vasylchenko¹, I. Askerov¹

¹Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

²Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

TECHNOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL FEATURES OF THE WELL CONSTRUCTION CYCLE IN MINERAL LEACHING METHODS

Мета. Розробка раціонального регламенту очищення і кріплення свердловин для підземного вилуговування металів з одночасним дотриманням норм екологічної безпеки.

Методика дослідження. Визначення особливостей спорудження свердловин виконано із застосуванням методів теоретичних і експериментальних досліджень, контрольовано-вимірювальних приладів і матеріалів. Вимірювання технологічних показників промивальних рідин здійснювалося за допомогою спеціальних пристроїв: віскозиметру СПВ-5, ротаційного пластометру СНЗ-2, приладу ВМ-6.

Результати дослідження. Нами запропоновано рецептури промивальних рідин із зниженим вмістом твердої фази. Для вказаних рідин визначено оптимальні концентрації глинистої складової, що знаходиться в межах 5%. На прикладі карбоксиметилцелюлози результативність хімічної обробки досягається при концентраціях вказаного полімеру до 0,3%. Додаткове підсилення явища стабілізації глинистих промивальних рідин може бути отримано при застосуванні реагентів-гідрофобізаторів, зокрема сульфатного мила з концентрацією до 2%. Досліджені реагенти, окрім іншого, відрізняються помірно незначним впливом на оточуюче середовище.

Наукова новизна. Нами доведена і аналітично пояснена можливість підвищення ефективності та екологічності способу підземного вилуговування металів за рахунок раціоналізації технології спорудження добувних свердловин, зокрема шляхом застосування якісних промивальних рідин із належними значеннями умовної в'язкості і статичної напруги зсуву, а також водовіддачі.

Практичне значення. Пропоновані до застосування рецептури промивальних рідин відрізняє доступність компонентів і чітка прогнозованість технологічних характеристик; їх застосування дозволить уникнути явищ погіршення властивостей системи гідроізоляції свердловин із одночасним забезпеченням виконання норм екологічних захисту.

Ключові слова: *свердловина, підземне вилуговування, промивальна рідина, полімерний реагент, екологічна безпека, технологічний показник, хімічна обробка, корисна копалина.*

Вступ. Сталий розвиток основних галузей промисловості провідних економічно-розвинутих країн неодмінно базується на результатах функціонування видобувної гілки індустріального сектору [1]. В означеному випадку маються на увазі процеси отримання різних корисних копалин, локацією яких виступають земні надра. А в такому випадку нам необхідно передбачати розбудову комплексу підприємств зі створення системного блоку виймання та переробки необхідних для нас компонентів за повного дотримання багатofакторних вимог екологічної безпеки. Певним чином дати уяву про особливості здійснення процесів отримання корисних копалин дозволяють класифікаційні ознаки останніх, сформульовані відносно типу їх агрегатного стану. Тут доречним буде наведення конкретних, гранично показових прикладів. Велику групу корисних копалин складають так звані тверді, класичними представниками яких являються руди чорних та кольорових металів, вугілля, різноманітні хімічні та будівельні речовини та матеріали [2]. Не менш важливими для промисловості та побутових потреб є рідкі корисні копалини, відомі нам як вода, вуглеводневі сполуки, а саме нафта і газовий конденсат, розчини різного хімічного складу із превалюванням конкретної речовини [3]. Замикають нами ідентифікований інтегральний ряд промислово-необхідних ресурсів газоподібні корисні копалини із їх найяскравішим представником – природним газом та його головним елементом – метаном. Практично кожна з названих копалин потребує для свого отримання з земних надр спеціальних прийомів, сутність яких визначається типом видобутої речовини, глибиною залягання покладу, геологічними умовами розробки родовищ, завданням даного гірничого (геотехнологічного) циклу видобутку та переслідуваної метою. Відповідно до існуючих нині практик, процеси геологічного пошуку, розвідки та видобутку корисних копалин ведуться за допомогою спорудження гірських виробок різних класів, у тому числі бурових свердловин. Залежно від стадії проведення робіт з освоєння родовищ, змінюється також і номенклатура вимог, які ставляться до споруджуваних виробок. Логічно та технологічно послідовним (для великої групи корисних копалин) вважаються принципи проведення пошукових і розвідувальних робіт за допомогою свердловин, а видобувних – із використанням певного комплексу капітальних гірських виробок [4]. Тут важливо підкреслити, що проведення нами означених типів гірських виробок повинно здійснюватися із застосуванням гранично раціональних й екологічно безпечних методів і прийомів, які максимально виключають можливу втрату розроблюваного родовища та забезпечують передумови реалізації процесів комплексного виймання і переробки мінеральної сировини.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Спорудження свердловин, причому, в більшості випадків, незалежно від їх призначення, ведеться із застосуванням операцій промивання та розмежування пластів [5]. Під процесами промивання розуміється наявність в стовбурі – отримуваної в земних надрах свердловини – циркуляції спеціального середовища, фізико-хімічні властивості якого повністю відповідають наявним геолого-технічним умовам. Розмежування пластів зводиться до реалізації комплексних робіт з кріплення стінок стовбура свердловин обсадними трубами та заповненням

утвореного таким чином кільцевого простору (між зовнішньою поверхнею обсадних труб та породними стінками свердловини) закачуванням, у різні способи, цементним (тампонажним) розчином [6].

В залежності від вимог щодо розвідувально-експлуатаційних завдань для свердловини, значне поширення отримали бурові промивальні рідини із дисперсійним середовищем у вигляді технічної води, в якому рівномірно розподілені частинки дисперсної фази, здебільшого глини того, або іншого мінералогічного складу. Важливість процесу промивання свердловин переоцінити складно, оскільки перед ним стоїть велика кількість задач, що не окреслюються лише традиційним видаленням зруйнованої породи з вибою споруджуваної свердловини та охолодженням відповідного інструменту [7]. Постійне ускладнення геологічних умов проведення свердловин, яке пов'язано із порушенням цілісності стовбура останніх, активним виникненням поглинань та проявів, недопущенням зміни стану екологічної рівноваги і т. ін., закономірно потребує застосування комплексних за рецептурою та функціональними ознаками дисперсних систем. Раціонально організований процес промивання свердловин, особливо експлуатаційних, дозволить отримати – в підсумку – надійний технічно-придатний канал для видобутку корисних копалин. Коротко охарактеризувати сказане можна як забезпечення стійкості в часі свердловини, що представляє собою інженерну споруду, та збереження для неї максимально можливих показників щодо ступеню вилучення необхідних компонентів без порушень екологічної рівноваги [8].

Операціями розмежування пластів вирішується коло ключових питань, серед яких можна виділити саме недопущення міжпластових перетікань флюїдів, чим забезпечується: уникнення водогазонафтопроявів в затрубному просторі, виключення явища погіршення колекторських властивостей продуктивної зони свердловини, попередження ймовірності передчасного обводнення зони експлуатаційного об'єкту; разом із зазначеним створюються умови унеможливлення забруднення надр та навколишнього середовища.

Відповідно до результатів проведених нами досліджень і даних інших авторів, основні питання вдосконалення техніко-технологічних основ комплексного циклу розмежування пластів пов'язані із розробкою засобів (підготовки стовбура свердловини до спуску обсадних труб) та матеріалів (тампонажних і буферних сумішей), які максимально відповідатимуть стану стовбура свердловини і дозволять, в кінцевому підсумку, отримати надійну ізоляційну оболонку із високими експлуатаційними показниками [9].

Особливо великої значимості розглянуті нами фактори набувають для геотехнологічних свердловин (видобувних, окрім водозабірних і нафтогазових), оскільки вони передбачають, для окремих типів сировини, досить тривалі терміни роботи при забезпеченні наявності активного функціонування зони привибійного експлуатаційного інтервалу. Застосування свердловинних геотехнологічних прийомів і методів може бути виправдано можливістю доволі суттєвого зменшення капітальних вкладень в процеси видобутку корисних копалин. Крім вказаного, за означених умов, також допускається активне включення в ефективну систему розробки тих покладів, які відрізняються наступними рисами:

відносно малою потужністю продуктивних пластів (так званих позабалансових), низьким вмістом в них корисних компонентів, розташуванням об'єктів видобутку на значних глибинах (з неодмінним негативним проявом геологічних факторів), що, загалом, не дозволяє проводити рентабельні гірничі роботи різного характеру [10].

У цілому можна підсумувати, що свердловинний видобуток, за належного техніко-технологічного забезпечення, дозволяє отримувати на поверхні, здебільшого, лише корисні копалини (в певному агрегатному стані), а це суттєво зменшує об'єми зайвих відходів виробництва, які необхідно утилізувати, і масштаби негативного впливу на навколишнє середовище.

Мета статті полягає у вивченні технологічної складової реалізації свердловинних методів видобутку твердих корисних копалин та розробці на цій основі раціонального регламенту очищення і кріплення означених специфічних гірських виробок для підземного вилуговування металів з одночасним дотриманням обмежувальних норм екологічної безпеки.

Обґрунтування вживання і опис вибраної автором методики. Частково аналітичні та лабораторні дослідження особливостей спорудження свердловин підземного вилуговування металів виконано із застосуванням сучасних методів теоретичних й експериментальних досліджень, зокрема шляхом використання загальних принципів математичного та фізичного моделювання, методик обробки результатів досліджень у середовищі EXCEL, MATHCAD, контрольних-вимірних приладів і матеріалів [11].

Вимірювання технологічних показників промивальних рідин здійснювалося на базі лабораторії промивальних рідин Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» за допомогою спеціальних пристроїв: віскозиметру СПВ-5 – визначення в'язкості, ротаційного пластометру СНЗ-2 – визначення статичної напруги зсуву, приладу ВМ-6 – визначення величини водовіддачі та товщини глинистої кірки [12].

Виклад основного матеріалу дослідження. Для вірного розуміння особливостей свердловинних (іншими словами геотехнологічних) методів видобутку корисних копалин (знову зазначимо – окрім випадків експлуатації водозабірних і нафтогазових свердловин) необхідно позначити, що тут означена група специфічних гірських виробок виступає одночасно засобом розкриття, технологічної підготовки і видобутку корисних копалин [13].

Дієвим інструментом геотехнологічного виймання є спеціальні робочі агенти, які дозволяють чинити фізичний, хімічний, комбінований тощо вплив на об'єкт видобутку, в результаті чого змінюється агрегатний стан продуктивного пласта (його окремих корисних компонентів), можливі також випадки перетворення отриманого матеріалу в деяку іншу речовину [14]. Яскравими прикладами реалізації геотехнологічних методів розробки родовищ можна вважати розчинення солей, гідравлічний видобуток вугілля і руд металів, розплавлення сірки, вилуговування металів (рис. 1), термічні способи підвищення нафтовіддачі пластів і т.д. Останнім часом поширення також отримують геотехнологічні методи видобутку, засновані на біохімічному і мікробіологічному впливі на поклад.

Неодмінним атрибутом геотехнологічних методів видобутку являється утворення продуктивних флюїдів у той формі, що дозволяє їм майже безперешкодно бути відтранспортованими на поверхню. Керування розглядуваними процесами трансформації корисних компонентів може ефективно здійснюватися шляхом варіювання окремих гідравлічних характеристик циркулюючих агентів та їх фізико-хімічних властивостей [15].

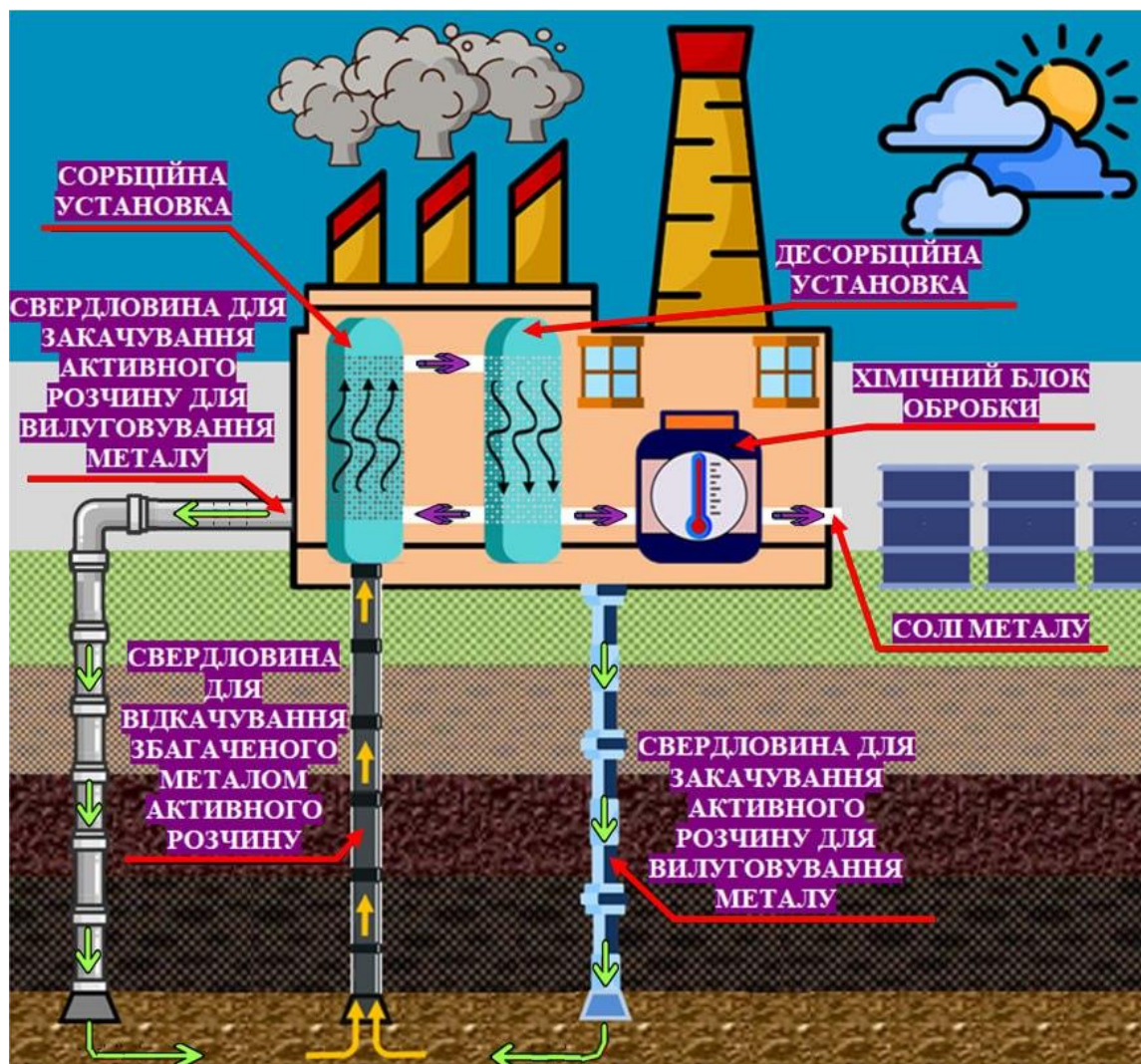


Рис. 1. Схематичне зображення технологічного комплексу підземного вилуговування металів

Необхідно зазначити, що роль свердловин при застосуванні геотехнологічних методів видобутку не зводиться тільки до необхідності якісного розкриття пластів корисних копалин, за ними залишається функція засобу відпрацювання покладу [16]. Саме за допомогою свердловин здійснюється замкнута циркуляція робочих агентів із подаванням останніх у зону продуктивного пласта і підйомом, отриманих у різні способи, збагачених корисними компонентами технологічних розчинів на поверхню [17]. Бурові свердловини дозволяють виконувати виробничо-необхідні операції з контролювання процесів видобутку, що зводяться до визначення ступеню розвитку вибійних геотехнологічних процесів та з'ясування

рівня повноти вилучення корисних компонентів з надр. Належним чином спроектовані та реалізовані в товщі гірських порід розглядувані інженерні споруди у вигляді свердловин, повинні максимально забезпечити охорону навколишнього середовища від можливого фізико-хімічного забруднення. Факторами якнайповнішого виконання сформульованої базової вимоги буде технологічно-виправдане здійснення операцій з промивання споруджуваних свердловин, що забезпечать уникнення прояву активної взаємодії дисперсного середовища, у вигляді того або іншого типу очисного агента, із оточуючими гірськими породами (з усіма негативними наслідками, зокрема, набухання і поглинання) та створять умови для отримання якісного експлуатаційного каналу, надійно ізольованого від взаємно обумовленого впливу гами фільтраційно-циркуляційних явищ в затрубному просторі свердловини [18].

Якраз проникністю гірських порід (що варіюється в досить широких межах) може бути пояснена імовірність забруднення підземних вод при виконанні операцій зі спорудження та експлуатації свердловин. В означених умовах потенційними джерелами забруднень можуть стати спеціальні технологічні рідини (промивальні, буферні, тампонажні системи, а також робочі циркуляційні середовища в певному геотехнологічному циклі). Внаслідок недосконалості виконання робіт з промивання і цементування свердловин, виникають суттєві порушення гідроізоляції обсадних колон геотехнологічних свердловин. Не можна залишати поза увагою і те, що окремі пласти-колектори містять у собі високомінералізовані агресивні води, а це є потенційним фактором появи вірогідності забруднення ними активно експлуатованих у побутових і промислових цілях водоносних горизонтів [19].

Певним чином забезпечити належну виробничу та екологічну досконалість проведення робіт зі спорудження та експлуатації геотехнологічних (та іншого призначення) свердловин, дозволяє застосування різних спеціальних технологічних рідин (промивальних і тампонажних) із відповідними геолого-технічним умовам раціональними значеннями основних показників властивостей і різноманіттям виконуваних вказаними рідинами функцій [20].

Приймаючи до уваги необхідність надійної ізоляції зони експлуатаційного об'єкту свердловини, що передбачає повне виключення для останнього міграційних явищ активних хімічних середовищ, зазначимо наступне: запобіжником означеного буде якісне цементування затрубного простору експлуатаційної колони на прикладі свердловин підземного вилуговування копалін. На шляху належного виконання названого нами завдання стоїть проблема наявності на стінках стовбура свердловини фільтраційної глинистої кірки, яка у вищій мірі негативно впливає на основні технологічні показники цементного каменю при її потраплянні до закачуваного тампонажного розчину. Схематично такий процес можна описати в наступний спосіб: при русі висхідного потоку тампонажного розчину в затрубному просторі свердловини відбувається змив ним зі стінок свердловини глинистих утворень (разом із продуктами руйнування вибою), які активно розподіляються в об'ємі розчину та за різними схемами взаємодіють з ним, про це свідчать експериментальні відомості щодо досліджень фізичного стану цементного каменю. Відповідно до аналізу отриманих показників, можна стверджувати, що в залежності

від вмісту глинистих утворень (у т.ч. і шламових частинок) в цементному камені (від 1 до 40%), міцність останнього знижується на 12–52%.

Уникнути розглянутих явищ можливо за рахунок застосування якісних промивальних рідин та спеціальних прийомів підготовки стовбура свердловини до виконання робіт із кріплення і цементування обсадної колони [21].

Співвідношення деяких основних функцій промивальних рідин та відповідних ним технологічних властивостей можна представити наступним чином. Показник в'язкості корелюється із здатністю бурової промивальної рідини стійко транспортувати продукти руйнування гірських порід певних розмірів; крім того він надає можливість регулювати інтенсивність поглинань промивальної рідини, навіть із повним виключення вказаного явища [22].

Нами були проведені лабораторні дослідження щодо вивчення можливості застосування малоглинистих розчинів (із концентрацією дисперсної фази до 5% – бентонітової глини) в якості промивальних рідин для спорудження свердловин підземного вилуговування металів. Оскільки концентрація бентонітового порошку в промивальній рідині помірна, то це не дозволяє створити для такого очисного агента прийнятні показники в'язкості (T , с). Саме тому для обробки промивальної рідини додатково залучено спеціальний полімерний реагент – карбоксиметилцелюлозу (КМЦ). Надання циркулюючій в стовбурі свердловини промивальній рідині властивостей недопущення додаткового диспергування глинистої фази, відбувалось за рахунок обробки очисного агента реагентом-гідрофобізатором, а саме сульфатним милом (СМ). Результати проведених досліджень представлені в графічній формі на рис. 2.

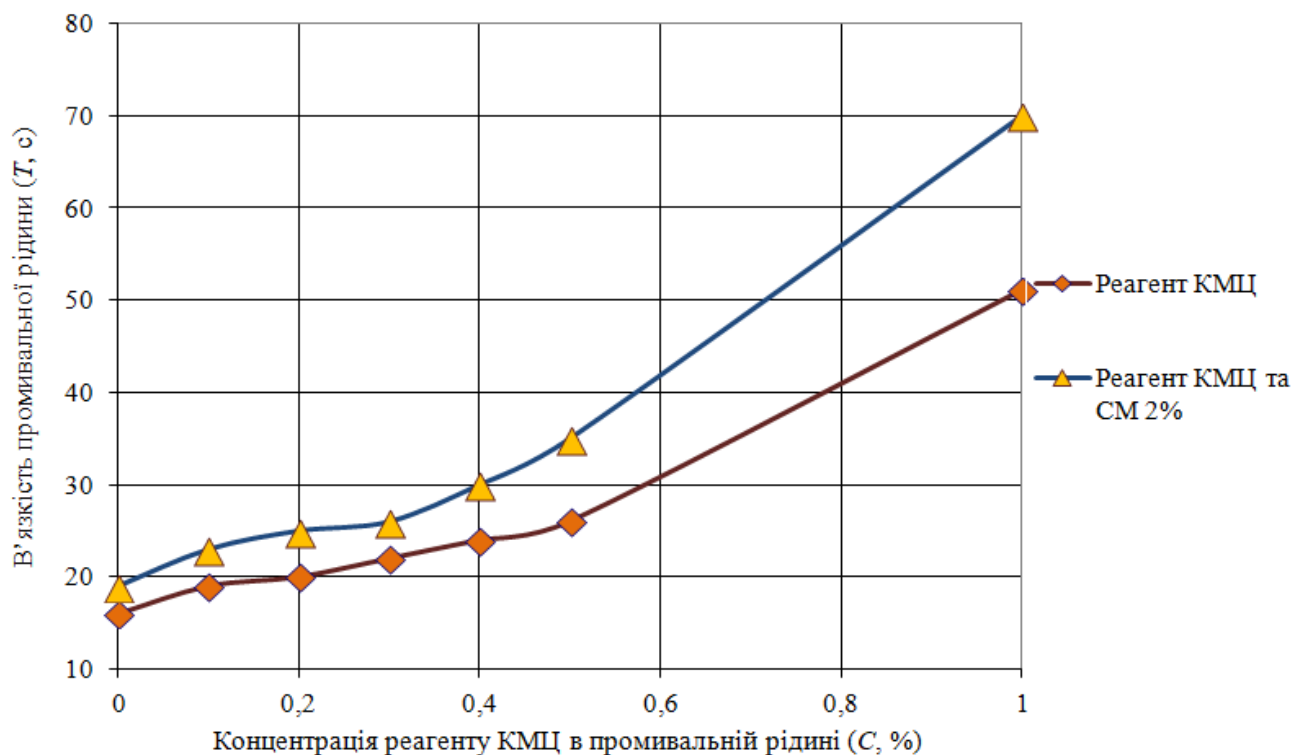


Рис. 2. Графічна інтерпретація механізму впливу хімічної обробки промивальних рідин (на основі бентонітових глин) на показники їх в'язкості

Відповідно до отриманих даних (див. рис. 2), констатуємо наступне: присутність КМЦ в промивальній рідині дозволяє підвищити її в'язкість (T) до прийнятних значень. Посилити названий ефект можна за рахунок застосування реагенту СМ. Вказані обставини створюють потенційні можливості для забезпечення прийнятних характеристик транспортуючої здатності промивальної рідини; вони практично виключають виникнення поглинань та додаткове негативне збагачення промивальної рідини глинистою фазою.

Наявність для дисперсної системи ознак утворення просторової структури, що характеризується показником статичної напруги зсуву (СНЗ) бурової промивальної рідини, дозволяє уникнути, за раптового припинення руху останньої, закономірного випадіння шламу на вибій свердловини; структуровані промивальні рідини також відрізняються своєю стабільністю в часі. Присутність означених факторів для запропонованих нами промивальних рідин підтверджується відомостями рис. 3 та 4.

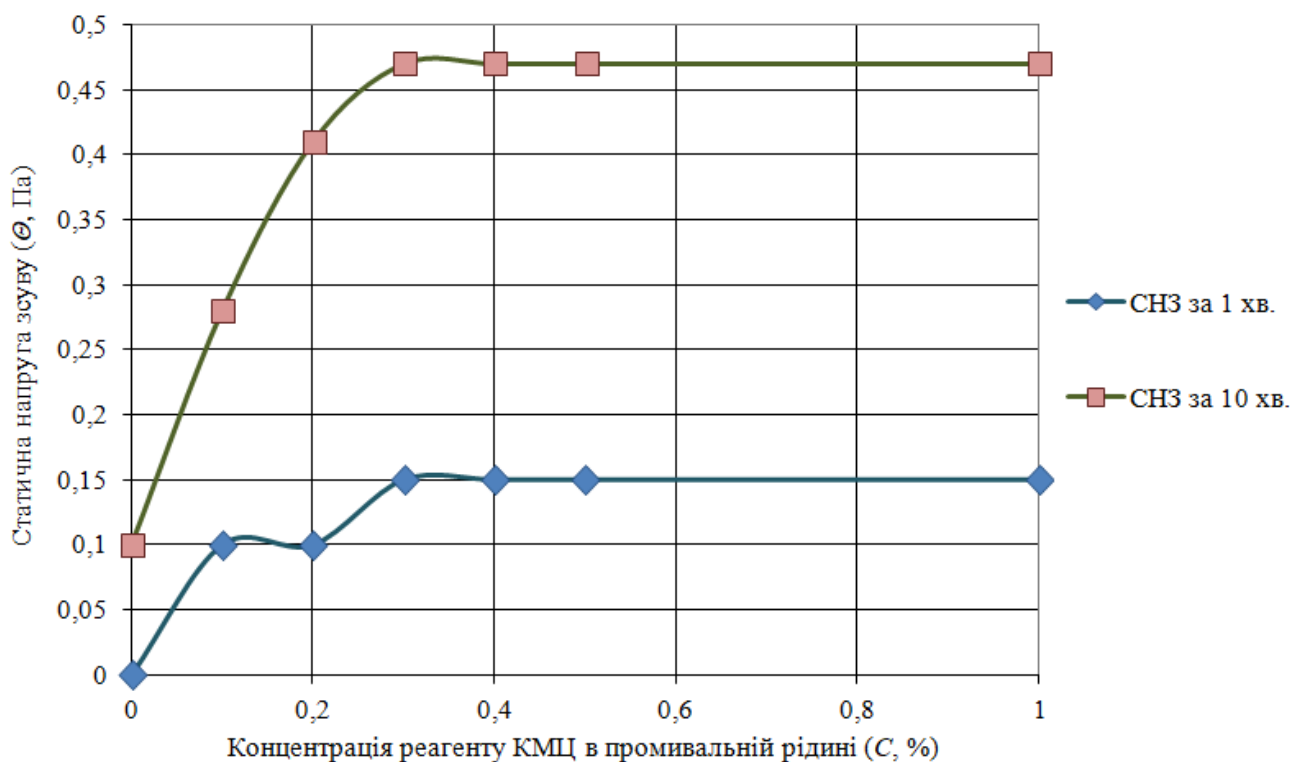


Рис. 3. Експериментальні значення для показника СНЗ при обробці промивальної рідини реагентом КМЦ

Представлені рис. 3 і 4 графічні відомості дозволяють стверджувати присутність різних механізмів впливу хімічної обробки на структурно-механічні властивості промивальних рідин. Показники статичної напруги зсуву (Θ , Па) для промивальних рідин, оброблених КМЦ, досягають своїх граничних значень при концентрації $C \approx 0,3\%$. У разі додаткової обробки глинистої промивальної рідини СМ, з $C = 2\%$, показник Θ характеризується ступеневим зростанням із підвищенням концентрації КМЦ, а після досягнення значення C для КМЦ, що дорівнює $C \approx 0,5\%$, параметр Θ суттєво знижується.

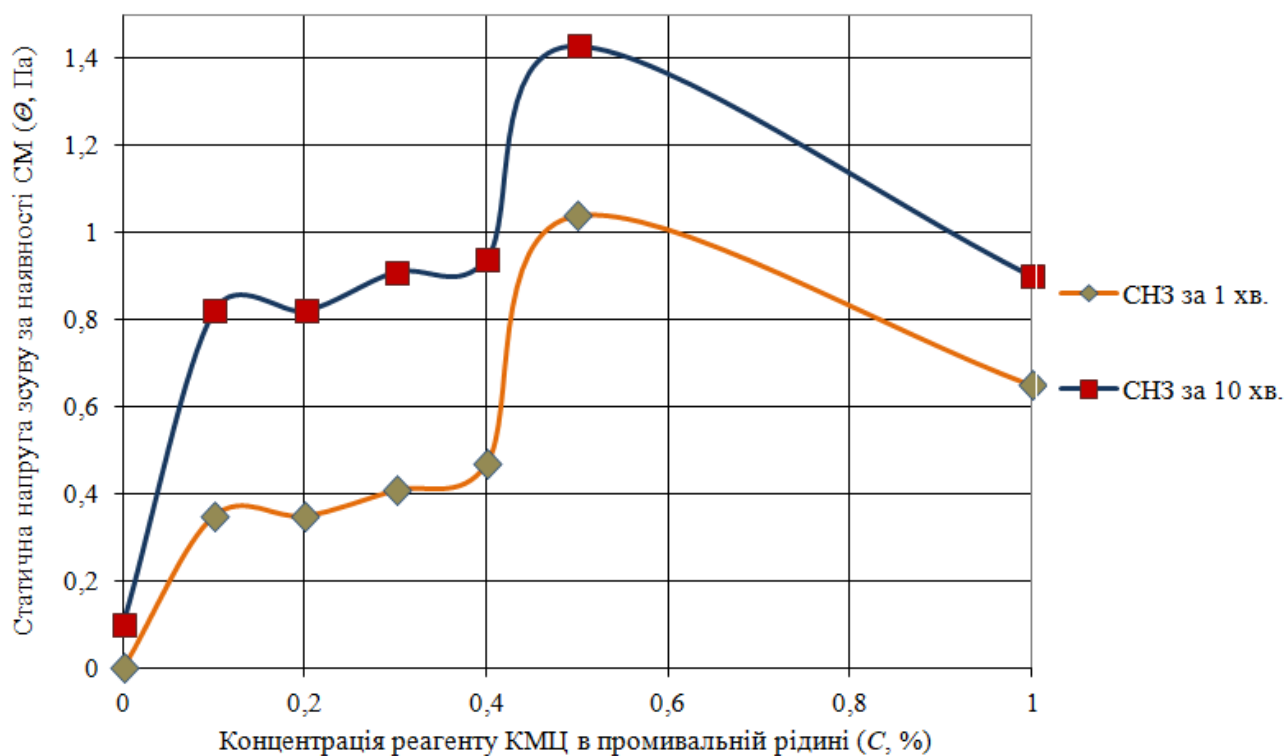


Рис. 4. Визначені лабораторними методами досліджень значення показника СНЗ при обробці промивальної рідини реагентом КМЦ та СМ

Регульовані межі прояву фільтрації (в даному випадку – водовіддачі) для промивальних рідин, із похідною вказаного – формуванням малопроникних глинистих кірок, забезпечують попередження набухання глинистих (та подібних ним) стінок стовбура свердловини внаслідок активного проникнення фільтраційної води. Нами експериментально вивчені результати впливу хімічної обробки промивальних рідин (за допомогою спеціальних реагентів) на показники водовіддачі (B , $\text{см}^3/30$ хв) та товщини глинистої кірки (K , мм).

Прийнятий нами регламент хімічної обробки промивальних рідин сприяє ефективному зниженню водовіддачі для циркуляційних середовищ; сформована останніми фільтраційна кірка також характеризується невеликими товщиною та проникністю для води. Означені параметри досягаються за значення концентрації реагенту КМЦ, що дорівнює 0,5%. Наявність присутності СМ майже не позначається на згаданих показниках.

Раціональні значення густини промивальної рідини дозволяють запобігати порушення цілісності стовбура споруджуваної свердловини та можливі флюїдопрояви (особливо для продуктивних горизонтів). Паралельно наведеним процесам, мають місце і такі негативні обставини: необґрунтовано завищені показники в'язкості циркулюючого агента провокують появу надмірних витрат гідравлічної потужності на прокачування промивальної рідини; структуроутворення – в розглянутих дисперсних системах – потребує реалізації на буровому насосі значних пускових тисків; неякісна фільтраційна кірка (проникна, рихла та липка) сприятиме активному потраплянню дисперсійного середовища в гірські породи, а також виникненню зайвих витрат потужності на обертання бурильної колони через

прихвати останньої глинистою фазою; через великі гідростатичні тиски стовпа промивальної рідини, обумовлені наявними показниками її густини, не виправдано знижується механічна швидкість буріння, в граничному випадку не виключено також і проявлення поглинаючої здатності пластів гірської породи [23].

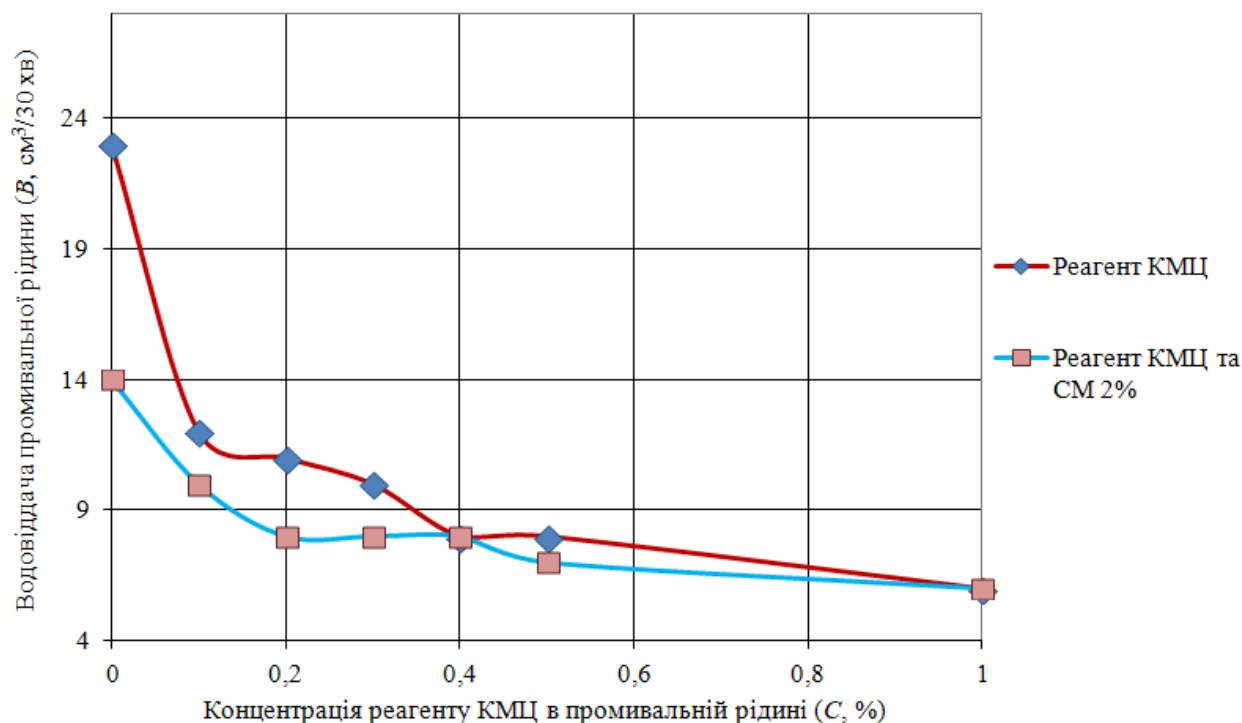


Рис. 5. Графічна інтерпретація впливу хімічної обробки глинистої промивальної рідини на показник її водовіддачі

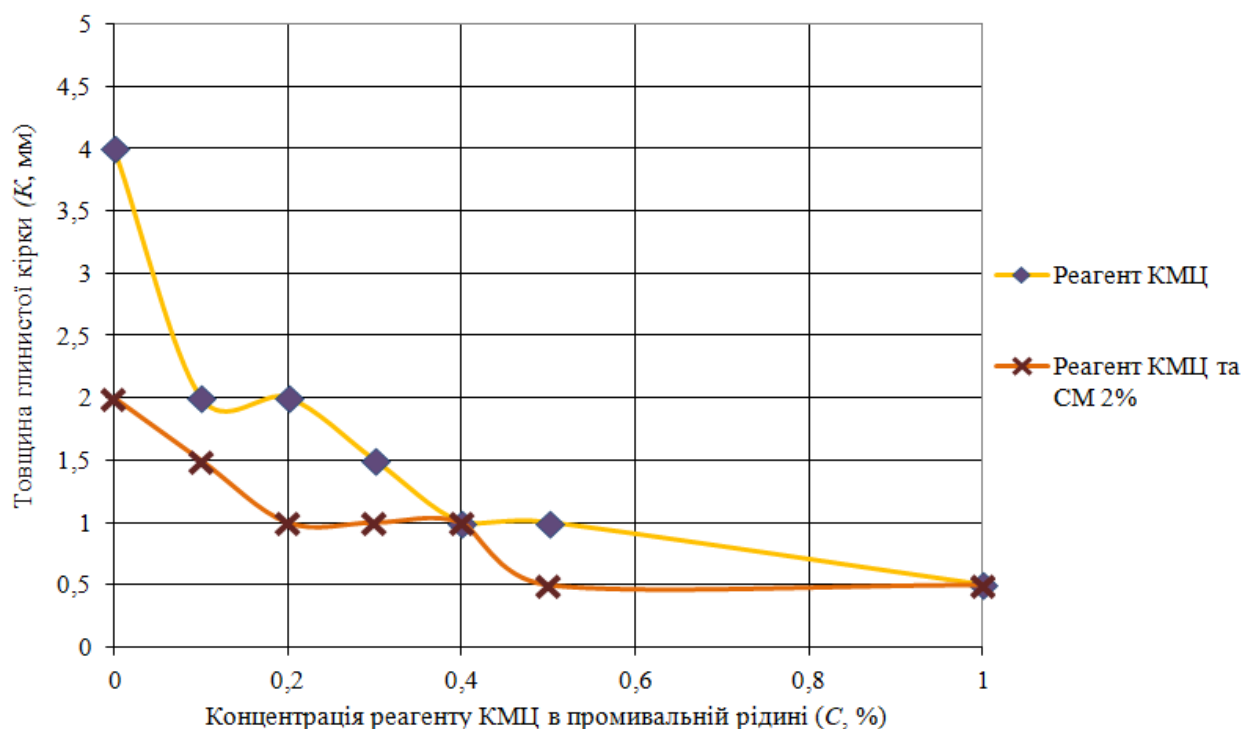


Рис. 6. Результати вивчення впливу хімічної обробки промивальних рідин на товщину фільтраційної глинистої кірки

Таким чином, застосування пропонованих нами рецептур промивальних рідин, при спорудженні свердловин підземного вилуговування металів, дозволить якісно створювати в товщі гірських порід названі експлуатаційні канали [24]. При їх спорудженні будуть дотримуватися вимоги щодо недопущення розповсюдження робочих і продуктивних розчинів з пластів корисних копалин через затрубний простір свердловин у водоносні горизонти. Обсадні колони розглядуваних свердловин будуть надійно ізольовані.

Висновки. В пропонованій науковій статті представлено огляд особливостей свердловинних методів видобутку, зокрема твердих корисних копалин. Нами окреслено деякі проблематичні питання, що виникають під час реалізації свердловинних технологій освоєння родовищ. В якості пріоритетного напрямку вдосконалення розглядуваних технологій обрано необхідність раціоналізації регламенту промивання свердловин підземного вилуговування металів. Відповідно до вказаного, розроблено рецептури промивальних рідин, що забезпечать уникнення прояву свердловинних ускладнень за одночасного дотримання норм екологічної безпеки для геологічного простору.

Перелік посилань

1. Bajpayee, T.S, Rehak, T.R, Mowrey, G.L, & Ingram, D.K. (2004). Blasting injuries in surface mining with emphasis on flyrock and blast area security. *Journal of Safety Research*, 35(1): 47–57. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2003.07.003>
2. Klein, C., & Philpotts, A.R. (2012). *Earth Materials: Introduction to Mineralogy and Petrology*. Publisher: Cambridge University Press.
3. Don, W.D. (2019). *Oilwell Drilling Engineering*. Publisher: ASME Press.
4. Lopez, J.C., Lopez, J. E., & Javier, F. (2017). *Drilling and blasting of rocks*. CRC Press Taylor & Francis.
5. Ihnatov, A. O., Haddad, J., Stavychnyi, Y. M., & Plytus, M. M. (2022). Development and Implementation of Innovative Approaches to Fixing Wells in Difficult Conditions. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series D*. <https://doi.org/10.1007/s40033-022-00402-5>.
6. Aziukovskyi, O., Koroviaka, Y., & Ihnatov, A. (2023). *Drilling and operation of oil and gas wells in difficult conditions*. Zhurfond.
7. Ihnatov, A. (2021). Analyzing mechanics of rock breaking under conditions of hydromechanical drilling. *Mining of Mineral Deposits*, 15(3), 122–129. <https://doi.org/10.33271/mining15.03.122>
8. Pavlychenko, A., Ihnatov, A., & Askerov, I. (2023). Issues of improving well construction processes and their environmental component. *Collection of Research Papers of the National Mining University*, 74, 192–203. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/74.192>
9. Koroviaka, Y. A., Mekshun, M. R., Ihnatov, A. O., Ratov, B. T., Tkachenko, Y. S., & Stavychnyi, Y. M. (2023). Determining Technological Properties of Drilling Muds. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 25–32. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-2/025>.
10. Sutton, G. A. (2019). Reconciling mineral reserves at the well-to-well in-situ copper leaching operation at San Manuel mine, Arizona, USA. *CIM Journal*, 10(3), 133–141.
11. Curry, G.L. & Feldman, R.M. (2012). *Manufacturing systems. Modeling and analysis*. Springer.
12. Caenn, R., Darley, H. C. H., & Gray, G. R. (2016). *Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids*. Elsevier Science & Technology Books.
13. Holtz, R. D., Kovacs, W. D., & Sheahan, T. C. (2022). *Introduction to Geotechnical Engineering*. Prentice Hall PTR.

14. Institution of Civil Engineers (Great Britain) Staff & Laloui, L. (2014). *Bio- and Chemo- Mechanical Processes in Geotechnical Engineering: Géotechnique Symposium in Print 2013*. I C E Publishing.
15. Babu, K. K., Raji, A. K., & Beena, K. S. (2022). *Geotechnical Engineering*. I.K. International Publishing House Pvt. Ltd.
16. Bell, F. G. (2013). *Engineering Geology and Geotechnics*. Elsevier Science & Technology Books.
17. Sarsby, R. (2019). *Environmental Geotechnics in Practice: Introduction and case studies*. <https://doi.org/10.1680/egip.63631>
18. Koroviaka, Ye.A. & Ihnatov, A.O. (2020). *Prohresywni tekhnolohii sporudzhenia sverdlovn: monograph [Advanced well construction technologies]*. Dnipro: Dnipro University of Technology [in Ukrainian].
19. Pavlychenko, A.V., Koroviaka, Ye.A., Ihnatov, A.O. & Davydenko, A.N. (2021). *Hidrohazodynamichni protsesy pry sporudzheni ta ekspluatatsii sverdlovn: monograph [Hydro-gas-dynamic processes during the construction and operation of wells]*. Dnipro: Dnipro University of Technology [in Ukrainian].
20. Ihnatov, A.A., & Stavychnyi, Ye.M., (2021). Heolohichni y tekhniko-tekhnolohichni osoblyvosti kriplennia naftohazovykh sverdlovn z urakhuvanniam fizyko-khimichnoho stanu yikh stovburiv [Geological and technical-and-technological features of casing oil and gas wells, taking into account the physical and chemical state of their wellbore]. *Instrumentalne materialoznavstvo - Tooling materials science*, 24, 87–102 [in Ukrainian].
21. Pavlychenko, A., Ihnatov, A., Koroviaka, Y., Bartashevskiy, S., Korotka, I., & Mekshun, M. (2021). Fundamentals of organizing a hydraulic well cleaning system. *Collection of Research Papers of the National Mining University*, 67, 136–152. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/67.136>
22. Pavlychenko, A. V., Ihnatov, A. O., Koroviaka, Y. A., Ratov, B. T., & Zakenov, S. T. (2022). Problematics of the issues concerning development of energy-saving and environmentally efficient technologies of well construction. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1049(1), 012031. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1049/1/012031>.
23. Ihnatov, A. O., Koroviaka, Y. A., Pavlychenko, A. V., Rastsvietaiev, V. O., & Askerov, I. K. (2023). Determining key features of the operation of percussion downhole drilling machines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1254(1), 012053. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012053>.
24. Ihnatov, A., Pavlychenko, A., Kostrytska, S., & Askerov, I. (2024, March 29). Technological and environmental basis for the construction of water wells. *Education and Science of Today: Intersectoral Issues and Development of Sciences*, 274–278. <https://doi.org/10.36074/logos-29.03.2024.058>

ABSTRACT

Purpose. Development of rational regulations for cleaning and securing wells for underground leaching of metals while simultaneously complying with environmental safety standards.

Research methodology. Determination of the features of well construction was carried out using theoretical and experimental research methods, instrumentation and materials. The measurement of technological parameters of flushing liquids was carried out using special devices: an SPV-5 viscometer, a SNZ-2 rotational plastometer, a VM-6 device.

Research results. We have proposed formulations of washing liquids with a reduced solid phase content. For these liquids, the optimal concentrations of the clay component, which is within 5%, have been determined. Using carboxymethylcellulose as an example, the effectiveness of chemical treatment is achieved at concentrations of this polymer of up to 0.3%. Additional enhancement of the stabilization of clay washing liquids can be obtained by using water-repellent reagents, in particular

sulfate soap with a concentration of up to 2%. The reagents studied, among other things, have a moderately insignificant impact on the environment.

Originality. We have proven and analytically studied the possibility of increasing the efficiency and environmental friendliness of the method of underground leaching of metals by rationalizing the technology for constructing production wells, in particular, by using high-quality flushing fluids with the appropriate values of conditional viscosity and static shear stress, as well as fluid loss.

Practical implications. The washing liquid formulations proposed for use are distinguished by the availability of components and clear predictability of technological characteristics; their use will allow to avoid the phenomena of deterioration of the properties of the well waterproofing system while simultaneously ensuring compliance with environmental protection standards.

Keywords: *well, underground leaching, mud fluid, polymer reagent, environmental safety, technological indicator, chemical treatment, mineral.*