

УДК 622.277

**Боблях С. Р., к.т.н., доцент** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## **ТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ СВЕРДЛОВИННОГО ГІДРОВИДОБУТКУ ТА ПІДЗЕМНОГО ВИЛУГОВУВАННЯ**

**Запропоновано спосіб свердловинного гідровидобутку та підземного вилугування із застосуванням горизонтальних ділянок свердловин, що дозволить підвищити ступінь вилучення корисної копалини із надр та знизити питомі капітальні витрати.**

**Ключові слова:** свердловинний гідровидобуток, вилугування, горизонтальне буріння, геотехнологічні методи, гідромонітор, видобувна свердловина.

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими або практичними завданнями.** У майбутньому пошук легкодоступних корисних копалин буде ставати все більш важким, оскільки світовий попит на них продовжує зростати. У той час як нині гігантські кар'єри домінують в гірничій галузі, майбутнє все ж таки належить геотехнологічним методам видобутку. Але для того, щоб їх застосування стало більш масовим, необхідно подолати ряд викликів.

По-перше, це значно дорожчі технології, а тому ціна та попит на корисну копалину мають бути дуже високими. По-друге, сама по собі підземна розробка є більш небезпечною та вимагає більше передбачень того, що буде відбуватись з поверхнею, ґрунтовими водами і який в цілому буде вплив на довкілля.

Однак, не зважаючи на наявні ризики, розробка родовищ щороку все більше і більше буде здійснюватись за допомогою геотехнологічних методів. Через те, що нові родовища цінних корисних копалин знаходяться на великих глибинах або в країнах, де існує політична нестабільність, гірничі компанії змушені будуть створювати ризиковані проекти, щоб залишитися на ринку.

В минулому, здійснювати розробку на більших глибинах було неможливим через вартість та неможливість технологій. В теперішній час, ситуація дещо інша, внаслідок розвитку технологій (дистанційне керування, робототехніка) та високих цін на сировину. Тому нині в

гірничій галузі ряд компаній по всьому світу намагається розв'язати проблему видобутку корисних копалин, що залягають на значних глибинах чи у місцях, де неможливо застосувати традиційну відкриту чи підземну (шахтну) розробку, з найменшими втратами та затратами.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій, в яких обговорюються поточні питання.** Аналіз закономірностей розвитку технології видобутку корисних копалин показав, що для розвитку гірництва необхідні пошуки нових шляхів, які дозволять збільшити видобуток корисних копалин, знизити їх собівартість, запобігти видачі на поверхню пустих порід, виключити присутність під землею людей, підвищити продуктивність праці. Вирішення зазначених задач являє собою важливу комплексну проблему, яка охоплює геологічну, гідрогеологічну, фізичну, хімічну і техніко-експлуатаційну характеристику покладу. У зв'язку з цим, першість в гірничій справі, а відповідно і перспективу розвитку будуть мати геотехнологічні методи видобутку корисних копалин.

Геотехнологічні методи видобутку корисних копалин слід розглядати не як конкуруючі з традиційними, а як доповнюючі їх. Ці методи доцільно застосовувати на нерентабельних для підземного та відкритого способів об'єктах: на великих родовищах порівняно бідних руд, де значний економічний ефект може бути отриманий за рахунок масштабності виробництва; на малопотужних покладах і рудопроявах багатих руд на родовищах, відпрацьованих традиційними методами, для вилучення корисних компонентів із залишених ціликів і забалансових руд; на відвалах забалансових руд й хвостів збагачення закритих і діючих підприємств.

Значного розвитку геотехнологія отримала в останні десятиліття із появою технології горизонтального буріння. Це дало змогу по-новому підійти до розробки родовищ, які раніше вважались нерентабельними, щодо можливості їх відпрацювання [1].

Так, лише в Канаді поява таких технологій, як CHOPS, VAPEX, WAG (water alternating gas), SAGD (steam assisted gravity drainage process), CSS (cyclic steam stimulation), THAI повною мірою завдячує появі технології горизонтального буріння. Саме це дозволило країні розпочати компанію з видобутку важкої нафти із бітумінозних пісків [2-3].

Геотехнологічні методи також застосовуються такими відомими компаніями, як Shell, Chevron Shale Oil Co та Exxon Mobil Corp, які мають дослідні ділянки та проводять дослідження з видобутку нафти із сланців.

Можливість горизонтального буріння дозволила також видобувати метан із вугільних родовищ. В останні роки інтенсивні роботи із вилучення метану проводять у Австралії, Китаї, Канаді, Індії, Польщі, Німеччині та Англії. Активно долучилася до цього процесу Росія з реалізацією пілотних проєктів у Кузбасі. Перераховані вище країни та в їх числі Україна складають десятку найбагатших держав світу, сумарні запаси метану, вугільних пластів яких оцінюються в 260 трильйонів кубометрів, що перевищує світові запаси природного газу.

Також завдяки горизонтальному бурінню сьогодні світ спостерігає за новим витком розвитку сланцевої індустрії. Як відомо, у світі дуже багато сланцевих покладів – пористої породи з великим вмістом органіки, необхідної для утворення нафти та газу.

У цих породах газ було виявлено ще у далекому 1821 році, а в 1970 році чергова енергетична криза змусила американський уряд уважніше придивитися до власних надр. Пошуки завершилися успіхом: були відкриті великі перспективні родовища. Однак криза закінчилася і видобуток газу із сланців став нерентабельним. Тим не менше, у 1990 роках окремі американські фірми продовжили наукові пошуки.

Найбільшого успіху досягла компанія із США Chesapeake Energy. Її фахівці реанімували старий метод горизонтального буріння, коли введений у пласт бур починають переводити у горизонтальне положення. Після цього у свердловинах створюють ефект гідравлічного удару за рахунок закачування води та хімікатів.

Старі методи стали успішними завдяки розвитку геотехнологій та відкриттю нових матеріалів для бурового обладнання. У підсумку, в 2008 році відбувся технологічний стрибок – видобуток газу із сланцю вийшов на промисловий рівень, а США зайняли перше місце у світі з видобутку газу, легко посунувши Росію. Більш того, запаси сланцевого газу у США перевищують 2000 трильйонів кубічних футів. У Росії запаси звичайного газу оцінюються у 1529 трильйонів кубічних футів. Рівень окупності газу, видобутого із сланців, знизився до 90 доларів за тисячу кубометрів, що є меншим за внутрішню ціну на блакитне паливо для промислових споживачів Росії. До видобутку сланцевого газу готуються у Китаї, Індії та Австралії. Вже зараз у проєкти інвестуються великі гроші. Британська BG Statoil Hydro вклала 3,4 мільярди доларів у спільне підприємство з Chesapeake Energy. Голландці із Shell придбали ліцензії на розробку надр Польщі та Німеччини. Французька компанія Total придбала 25-відсоткову частку у сланцевих проєктах Chesapeake за 2,3 мільярда доларів, а Exxon Mobil у 2009 році запла-

тила 41 мільярд доларів за фірму ХТО Energy, яка розробляє родовища сланцевого газу.

У Європі та США революція у газовій сфері викликала справжній ажіотаж не лише в економічній, але й політичній площині. В Україні також є неабиякі поклади сланців в межах Дніпровсько-Донецької западини, в Криму, Карпатах, на Поділлі.

Геотехнологічні методи також застосовують при експериментальних роботах із розробки родовищ газогідратів, що залягають на дні морів.

І хоча буріння горизонтальних свердловин, що застосовуються при різних геологічних методах видобутку корисних копалин є досить дорогою технологією, все ж таки воно з кожним роком все більше і більше застосовується по всьому світу. Серед переваг цієї технології виділяють можливість буріння декількох свердловин із горизонтальними ділянками до 2 км із однієї бурової ділянки, що чинить значно менший негативний вплив на навколишнє природне середовище (рис. 1) та в кінцевому результаті має кращий економічний ефект.

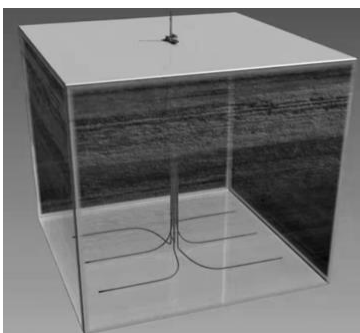


Рис. 1. Можлива схема розташування видобувних свердловин

**Виділення невирішених аспектів проблеми.** Найбільш розвинутими геотехнологічними методами є підземне розчинення солей і вилуговування руд, підземна виплавка сірки, підземна газифікація вугілля та свердловинний гідровидобуток. Ці методи дозволяють вести процес видобутку корисної копалини безпосередньо на місці залягання, звівши до мінімуму витрати на розкриття та підготовку покладу.

Найбільш переважаними геотехнологічними методами є метод свердловинного гідровидобутку та підземного вилуговування, основними перевагами яких є можливість повної автоматизації процесу, виключення важкої небезпечної праці людини під землею, зменшення об'ємів і термінів вводу освоєння промислових потужностей та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

Однак, дуже часто при значних капітальних витратах ступінь вилучення корисної копалини із надр лишається дуже низьким. При свердловинному гідровидобутку об'єм вилучення корисної копалини із ви-

добувної камери обмежується радіусом розмиву, а при збільшенні останнього виникають проблеми із доставкою зруйнованої породи в самій камері до гідроелеватора чи ерліфта.

Щодо підземного вилуговування корисних копалин, то тут теж прослідковується проблема із низьким вилученням корисного компонента.

Враховуючи і той факт, що ці технології отримали свій розвиток в середині минулого століття, сьогодні назріла необхідність створення нових технологічних схем, які б дозволили підвищити ступінь вилучення корисної копалини із надр та знизити питомі капітальні витрати за рахунок зменшення кількості буріння свердловин.

**Постановка задачі.** В даній статті планується представити технологічні схеми свердловинного гідровидобутку та підземного вилуговування, застосування яких дозволить підвищити ступінь вилучення корисної копалини із надр та знизить питомі капітальні витрати.

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.**

Відомий спосіб свердловинного гідровидобутку корисних копалин, включає буріння видобувної та нагнітальної свердловин, подачу робочого агента по нагнітальній свердловині та розмив корисної копалини гідромонітором. Підйом пульпи на денну поверхню здійснюють вертикально розміщеним пульпопідйомним механізмом (гідроелеватором чи ерліфтом).

При свердловинному гідровидобутку з використанням гідроелеватора чи ерліфта, об'єм корисної копалини, що транспортується на денну поверхню, обмежується величиною радіуса розмиву видобувної камери, при збільшенні якого відбувається різка зміна лінійної швидкості руху пульпи і відповідне збільшення віддалі транспортування від стінок камери до гідроелеватора чи ерліфта. Тому при збільшенні радіуса розмиву видобувної камери вилучення корисної копалини знижується внаслідок втрат.

Поставлена задача вирішується способом свердловинного гідровидобутку корисних копалин, який включає буріння видобувної та нагнітальної свердловин, подачу робочого агента через нагнітальну свердловину, розмив корисної копалини гідромонітором та підйом утвореної пульпи на денну поверхню видобувною свердловиною, причому вздовж телескопічного ствола гідромонітора бурять горизонтальну ділянку видобувної свердловини, всередині якої розміщують всмоктувальну перфоровану трубу для підйому пульпи на денну поверхню. В середині перфорованої труби встановлюють допоміжну всмоктувальну

трубу для обмеження робочої частини всмоктувальної перфорованої труби.

При подачі корисної копалини на денну поверхню за допомогою горизонтально розміщеної вздовж телескопічного ствола гідромонітора перфорованої всмоктувальної труби вилучення корисної копалини значно збільшується. Це дозволяє збільшити об'єм вилучення корисної копалини та відповідно радіус розмиву видобувної камери без буріння додаткових свердловин.

Запропонований спосіб свердловинного гідровидобутку (рис. 2) здійснюють наступним чином.

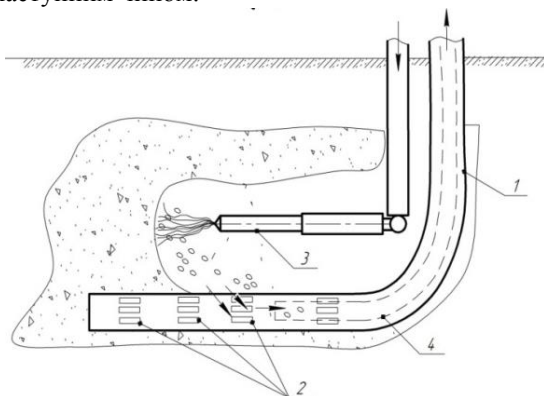


Рис. 2. Схема свердловинного гідровидобутку корисних копалин:

- 1 – видобувна свердловина; 2 – перфорована труба; 3 – телескопічний гідромонітор; 4 – допоміжна всмоктувальна труба

Із денної поверхні вертикально бурять видобувну свердловину 1. При досягненні пласта корисної копалини виконують перехід від вертикальної чи похилої ділянки до горизонтальної ділянки. У горизонтальну ділянку свердловини 1, що розміщена у верхніх шарах підшви корисної копалини, вставляють перфоровану трубу із отворами 2.

Розмив корисної копалини здійснюють за допомогою гідромонітора із телескопічним ством 3. Після розмиву початкової камери телескопічний ствол 3 у складеному стані виводиться в горизонтальне положення, після чого внаслідок дії тиску води починають висуватись його телескопічні секції. Розмита корисна копалина всмоктується розміщеною нижче горизонтальною перфорованою всмоктувальною трубою через отвори 2. Для зниження втрат тиску на всмоктування всередину перфорованої всмоктувальної труби встановлюють допоміжну всмоктувальну трубу 4, яка обмежує робочу частину перфорованої ді-

лянки труби. При забиванні отворів перфорованої всмоктувальної труби регенерація виконується зворотним потоком.

Щодо підземного вилуговування корисних копалин, то найпоширеніша схема включає буріння двох вертикальних чи похилих свердловин (нагнітальної і видобувної) до горизонту пористих порід та закачування вилуговуючого агента у ці породи. Утворений розчин з цінним компонентом відкачується на денну поверхню та підлягає переробці гідрометалургійними методами [4].

Важливими природними факторами застосування підземного вилуговування є здатність корисного компонента і його сполук переходити в розчин при впливі на рудний пласт водного розчину вилуговуючого реагенту, а також можливість фільтрації вилуговуючих розчинів у породах продуктивного покладу. Вибір розчинника для підземного вилуговування залежить від складу руд. Найбільш широко застосовують водні розчини кислот. Важливим фактором ефективності видобутку методом підземного вилуговування є правильний вибір схеми розміщення технологічних свердловин і відстаней між ними.

У практиці експлуатації родовищ, в основному, застосовується лінійна схема розміщення свердловин, що є зміною рядів нагнітальних і відкачувальних свердловин. Відстані між рядами і свердловинами в ряду коливаються в широких межах (15...50 м і більше). Найбільше розповсюдження отримала схема 25x50 м.

Кожна пара нагнітальний та видобувних свердловин має певне сталі екологічне навантаження та обмежений об'єм корисної копалини з якого видобувається розчин з цінним компонентом. Збільшення об'єму корисної копалини, з якої видобується цінний компонент приведе одночасно до зниження питомих капіталовкладень на видобуток корисної копалини та зниження впливу на навколишнє природне середовище.

Однією з основних перешкод на шляху розвитку методу вилуговування є низька швидкість розчинення, зумовлена знаходженням металів у важкорозчинних сполуках. У зв'язку з цим велика увага приділяється розробці способів інтенсифікації процесу.

При підземному вилуговуванні корисної копалини з використанням тільки вертикальних свердловин або свердловин зорієнтованих під кутом до вертикалі, об'єм корисної копалини, що вилуговується, обмежується кількістю точок подачі розчинника і відбору продуктивного розчину та довжиною просочування розчинника. Тому ступінь вилучення цінного компонента з надр низький. При подачі вилуговуючого агента і окиснювача та відсмоктування продуктивного розчину через

перфоровані труби кількість точок подачі та відсмоктування, які припадають на одну свердловину, значно збільшується. Це дозволяє збільшити об'єм корисної копалини, у якій проводиться вилуговування, та відповідно ступінь вилучення цінного компонента з надр без буріння додаткових свердловин.

Поставлена задача досягається тим, що у способі підземного вилуговування із застосуванням горизонтальних свердловин, який включає встановлення колони обсадних труб у вертикальну частину нагнітальних та видобувних свердловин і перфорованих труб у горизонтальну складову цих свердловин, причому подачу вилуговуючого агента та окиснювача в пористі породи із мінералізацією в них цінного компонента, що розташовані між водонепроникними шарами, здійснюють по окремих горизонтальних і паралельно розташованих нагнітальних свердловинах, а всмоктування розчиненого корисного компонента та подачу його на денну поверхню здійснюють за допомогою горизонтальних і паралельно розташованих видобувних свердловин.

На рис. 3 та рис. 4 зображено запропоновану схему буріння свердловин для підземного вилуговування із застосуванням горизонтальних ділянок свердловин.

Спосіб підземного вилуговування із застосуванням горизонтальних ділянок свердловин здійснюють наступним чином. Із денної поверхні бурять вертикальні чи похилі нагнітальні 1 та видобувні 2 свердловини [5].

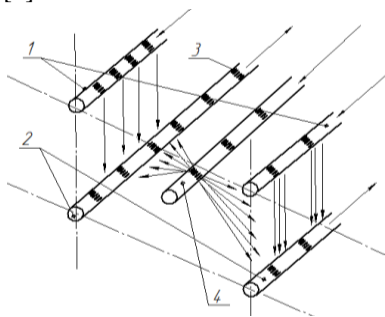


Рис. 3. Схема руху робочого агента, розчину цінного компонента та окисника: 1 – нагнітальні свердловини; 2 – видобувні свердловини; 3 – отвори в перфорованих трубах; 4 – нагнітальна свердловина для подачі окиснювача

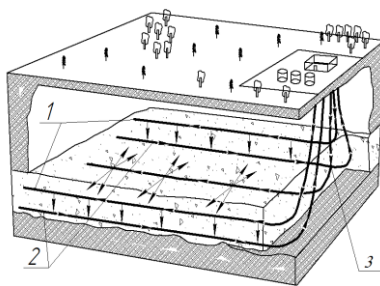


Рис. 4. Схема буріння свердловин для підземного вилуговування із застосуванням горизонтальних ділянок свердловин: 1 – нагнітальні свердловини; 2 – видобувні свердловини; 3 – нагнітальна свердловина для подачі окиснювача



При досягненні пласта пористих порід з цінним компонентом виконують перехід від вертикальних чи похилих ділянок до горизонтальних чи похилих ділянок нагнітальних та видобувних свердловин. У горизонтальні ділянки свердловин 1 та 2, які розміщені у пористих породах, встановлюють перфоровані труби, з отворами 3. Між двома парами видобувних та нагнітальних свердловин може бути розташована нагнітальна свердловина 4, призначена для подачі окиснювача. Рекомендована відстань між свердловинами 1 та 2 – 5 м.

Подачу вилуговуючого агента та окиснювача здійснюють через перфоровані труби, розміщені у горизонтальних ділянках нагнітальних свердловин 1. Вилуговуючий агент внаслідок процесів дифузії/адвекції та сил гравітації розчиняє корисний компонент, що міститься в пористих породах. Отриманий продуктивний розчин відкачується за допомогою перфорованих труб, розміщених у горизонтальних ділянках видобувних свердловин 2, та подається на денну поверхню для подальшої переробки. Для забезпечення кращого вилучення цінного компонента додатково бурять нагнітальну свердловину 4, через яку подають окиснювач. Подачу вилуговуючого агента окиснювача та всмоктування продуктивного розчину здійснюють через отвори 3 у свердловинах 1, 2 і 4.

**Висновки.** Таким чином, запропонована схема способу свердловинного гідровидобутку корисних копалин із застосуванням горизонтально розміщеної вздовж телескопічного ствола гідромонітора перфорованої всмоктувальної труби дозволить збільшити радіус розмиву видобувної камери при одночасному збільшенні ступеня вилучення корисної копалини.

Застосування способу підземного вилугування із використанням горизонтальних ділянок свердловин дозволить збільшити площу дренування покладу за допомогою меншої кількості свердловин. При цьому спостерігатиметься скорочення терміну розробки покладу, що заощаджує витрати на розробку родовища та збереження довкілля завдяки меншій площі землі під свердловинами і промислові споруди. Також розраховано, що потенціальний дебіт горизонтальних видобувних свердловин від 3 до 20 разів перевищуватиме дебіт стандартних вертикальних свердловин.

1. David A. Willoughby. Horizontal direction drilling / David A. Willoughby. – McGraw-Hill, 2005. – 400 p.
2. J.A. Veil. Water issues associated with heavy oil production / J. A. Veil; U.S. Department of Energy, National Technology laboratory. – 2008.
3. S. Dyer. Under-Mining the Environment : Oil Sands Report Card / S. Dyer; Drayton Valley, AB : Pembina Institute. – 2008.

www.oilsandswatch.org/pub/1571. 4. Физико-химическая геотехнология : учебник для ВУЗов / В. Ж. Аренс и др. – Москва : Горная книга, 2010. – 575 с. 5. Пат. 70842 UA, МПК (2012.01) E21C 45/00. Спосіб підземного вилуговування із застосуванням горизонтальних ділянок свердловин / Боблях С. Р., Козяр В. О., Ігнатюк Р. М., Стадник О. С. – № у 2011 14932; заявл.16.12.2012; опубл.25.06.2012, Бюл. № 12.

Рецензент: д.г.н., професор Калько А. Д. (НУВГП)

---

**Bobliakh S. R., Candidate of Engineering, Associate Professor,**  
(National University of Water Management and Nature Resources Use,  
Rivne)

### **TECHNOLOGICAL SCHEMES OF HYDRAULIC MINING AND IN-SITU LEACHING**

**Horizontal sections of boreholes for hydraulic mining and in-situ leaching to increase the extraction rate and cut costs are proposed in this paper.**

**Keywords: peat pellets, hydraulic mining, in-situ leaching, horizontal drilling, geotechnological methods, hydromonitor, extraction borehole.**

---

**Боблях С. Р., к.т.н., доцент** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

### **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ СКВАЖИННОЙ ГИДРОДОБЫЧИ И ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ**

**Предложен способ скважинной гидродобычи и подземного выщелачивания с применением горизонтальных участков скважин, что позволит повысить степень извлечения полезного ископаемого из недр и снизит удельные капитальные затраты.**

**Ключевые слова: скважинная гидродобыча, выщелачивание, горизонтальное бурение, геотехнологические методы, гидромонитор, добычная скважина.**