

Флюх М. В., студент 1 курсу, гр. ГТ-51

Науковий керівник: Гребенюк Т. В., к.т.н., доцент

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН ШЛЯХОМ ЛОКАЛЬНОГО ХІМІЧНОГО РОЗМ'ЯКШЕННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Буріння свердловин у твердих і міцних гірських породах залишається однією з найбільш енергоємних та вартісних операцій у гірничій справі, геологорозвідці та підземному будівництві. Висока міцність порід зумовлює значні енерговитрати, прискорений знос доліт і простої обладнання. В умовах нагальної потреби відновлення інфраструктури України та підвищення ефективності видобутку корисних копалин ця проблема набуває особливої гостроти. Тому пошук інноваційних способів попереднього ослаблення породи безпосередньо перед її руйнуванням є перспективним. За аналогією з термомеханічним бурінням, де породу попередньо нагрівають для зниження міцності [1], хімічний вплив може стати додатковим інструментом для полегшення руйнування.

Сучасні технології буріння включають механічні методи (обертальне, ударно-обертальне, турбобуріння), застосування високоефективних доліт типу PDC та оптимізацію бурових розчинів і режимів навантаження [1]. Окремим напрямом є комбіноване термомеханічне буріння, у якому попередній тепловий вплив на вибій дає змогу зменшити контактні напруження на різальній поверхні долота та стабілізувати процес руйнування породи [1]. Проте при роботі у твердих абразивних породах, таких як граніти, кварцити чи міцні пісковики, цього часто недостатньо: необхідні значні осьові навантаження та крутні моменти, що обмежується можливостями обладнання та підвищує ризик втрати стійкості стінок свердловини [2, 3].

Метою роботи є огляд та обґрунтування можливості зменшення енерговитрат та підвищення швидкості буріння за рахунок локального хімічного послаблення гірських порід у привибійній зоні на основі аналізу впливу реагентів на міцнісні характеристики порід, розроблення схеми подачі реагенту та оціночних розрахунків енергетичного ефекту й витрат реагенту.

Суть запропонованої технології полягає у комбінованому механіко-хімічному бурінні. Передбачається, що через спеціальні канали в буровому долоті або через окремий інжектор безпосередньо в зону перед ріжучими елементами подається розчин хімічного реагенту низької концентрації. Взаємодіючи з породою, реагент спричиняє низку ефектів: часткове розчинення або деструкцію цементуючого матеріалу, що зв'язує мінеральні зерна; збільшення мікропористості та ініціацію мікротріщин. Це призводить до значного зниження ключових показників міцності породи, зокрема межі міцності на стиск і розтяг [2, 4]. Як наслідок, для руйнування ослабленого шару породи потрібні менша осьова сила та крутний момент, що дозволяє підвищити швидкість проходки та зменшити інтенсивність зносу долота. Важливою перевагою є локальність процесу: реакція відбувається у тонкому шарі безпосередньо на вибої, а продукти реакції та залишки реагенту одразу виносяться на поверхню циркулюючим буровим розчином.

Важливим аспектом є вибір реагентів, які мають бути ефективними при низькій концентрації, некорозійними щодо обладнання, з контрольованим часом реакції та сумісними з буровим розчином. Для карбонатних порід доцільно застосовувати розчини слабких органічних кислот (лимонної, оцтової), що, реагуючи з кальцитом, знижують міцність породи [2, 4]. Для теригенних порід, таких як пісковики, перспективними є композиції на основі комплексоутворювачів і ПАР, що послаблюють глинистий цемент [2, 3]. Подача реагенту може бути постійною (через буровий розчин) або імпульсною перед проходженням особливо міцних інтервалів.

Оцінку ефективності технології можна провести на основі аналізу зміни механічних властивостей породи. Згідно з літературними даними, кислотна обробка здатна знижувати міцність карбонатних і теригенних порід на 30–80% [2, 4].

$$\sigma_{c1} = 0,7 \sigma_{c0} \quad (1)$$

Припустимо, що вихідна міцність породи на одновісний стиск становить $\sigma_{c0} = 120$ МПа. Після хімічної обробки вона може знизитися на 30 %, тобто $\sigma_{c1} = 0,7 \cdot \sigma_{c0} = 84$ МПа. Оскільки питома енергія руйнування (MSE) є пропорційною до міцності породи, її зменшення на 30 % означає аналогічне зниження

енергоємності процесу буріння та потенційне підвищення швидкості проходки за тих самих навантажень. За рахунок локального характеру впливу витрата реагенту залишається порівняно невеликою.

Важливим є екологічний аспект запропонованої технології. Передбачається використання малоконцентрованих біорозкладних реагентів, продукти реакції яких нейтралізуються в циркуляційній системі. Порівняно з енергоємними термічними методами це дає змогу зменшити споживання енергії та викиди CO₂, а інтеграція в замкнутий цикл використання бурового розчину мінімізує вплив на довкілля.

Таким чином, запропонований метод локального хімічного розм'якшення гірських порід є перспективним напрямом інтенсифікації буріння. Він дозволяє знизити міцність породи безпосередньо в зоні руйнування, що потенційно веде до зменшення енерговитрат, підвищення швидкості проходки та продовження терміну служби бурового інструменту. Технологія може бути реалізована з мінімальною модернізацією існуючих бурових установок. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на проведення лабораторних експериментів з реальними зразками порід, оптимізацію складу реагентів та режимів їх подачі, а також на детальне техніко-економічне та екологічне обґрунтування методу.

Список використаної літератури:

1. Rossi E., Schuster R., et al. The influence of thermal treatment on rock–bit interaction in combined thermo–mechanical drilling // *Geothermal Energy*. – 2020. – Vol. 8, No. 1. – P. 1–23.
2. Alameedy U., Fatah A., Abbas A.K., Al-Yaseri A. Matrix acidizing in carbonate rocks and the impact on geomechanical properties: a review // *Fuel*. – 2023. – Vol. 349. – Art. 128586.
3. Geng H., Qin L., Zhang B. Acid solution decreases the compressional wave velocity and strength of sandstone // *Heritage Science*. – 2019. – Vol. 7, No. 1. – P. 1–14.
4. Chen W., Yang J., Li L., Wang H., Huang L., Jia Y., Hu Q., Jiang X., Tang J. Investigation of mechanical properties evolution and crack initiation mechanisms of deep carbonate rocks affected by acid erosion // *Sustainability*. – 2023. – Vol. 15, No. 15. – Art. 11807.