

Список використаних джерел

1. Muhammad Ahsan. Optimizing shale shaker performance and screen selection impact on carbon profile. – World Journal of Advanced Research and Reviews, 2025. – 4 p.
2. Jian Huang, Ling Wang, Fanxiu Li. Research on Multi-Layer Drilling Mud Reuse Technology. – Basel: Processes (MDPI), 2024.
3. Shale Shaker - an overview.: ScienceDirect (from A Practical Handbook for Drilling Fluids Processing), 2020.
4. Mechanical Treatment of Weighted Drilling Muds. – Richardson: Journal of Petroleum Technology (SPE), 1954.
5. What Factors Influence Shale Shaker Performance? Solids Control World Blog, 2022.
6. Ibrahem, H. A., Mohammed, S., & Badri, H. (2024). Solids Control Equipment (Shale Shakers, Desanders, Desilters). Unpublished. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10304.85762>.

УДК 504.064.4:622.276

Петренко Тарас Сергійович

аспірант кафедри нафтогазової інженерії і технологій,
Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка»

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ РОДОВИЩА: ГІБРИДНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ ВУГЛЕЦЕВО-НЕГАТИВНОГО ВИДОБУТКУ
НАФТИ**

Перед світовою спільнотою стоїть нагальне завдання скорочення викидів парникових газів для протидії глобальним кліматичним змінам. Ключову роль у цьому процесі відіграють технології уловлювання, утилізації та зберігання вуглецю (CCUS), які дозволяють ізолювати діоксид вуглецю (CO₂) з промислових джерел. Одним із найбільш зрілих та прагматичних напрямів CCUS є закачування CO₂ у виснажені нафтові родовища. Цей підхід пропонує унікальне поєднання екологічних та економічних переваг, що робить його важливим інструментом перехідного періоду до низьковуглецевої економіки.

Основна екологічна перевага полягає у можливості надійного та довгострокового геологічного зберігання значних обсягів CO₂. Потрапляючи в пористе середовище на великій глибині, діоксид вуглецю утримується завдяки тим самим природним механізмам, які мільйони років утримували нафту та газ. Головним чином, CO₂ залишається під непроникною покрівлею (структурне утримання), а також частково розчиняється у пластових водах та затримується в порах породи. Це

перетворює старі родовища на безпечні та довговічні сховища вуглецю, запобігаючи його потраплянню в атмосферу [1].

Водночас закачування CO₂ має значний економічний стимул. Діоксид вуглецю, взаємодіючи з залишковою нафтою, зменшує її в'язкість і дозволяє видобути додаткові обсяги вуглеводнів. Дохід від їх реалізації допомагає компенсувати високі витрати на уловлювання та транспортування CO₂, створюючи фінансово життєздатну модель для проєктів декарбонізації. Це дозволяє розбудовувати необхідну інфраструктуру (трубопроводи, компресорні станції), яка в майбутньому може використовуватись для зберігання вуглецю з інших галузей промисловості.

Кінцевою метою застосування цієї технології є досягнення вуглецево-негативного видобутку нафти. Цей стан досягається тоді, коли маса постійно збереженого в надрах CO₂ перевищує сукупні викиди, пов'язані з видобутком, транспортуванням та кінцевим споживанням отриманої нафти. Проте досягти такого результату за допомогою традиційних методів управління родовищем вкрай складно. Стандартні підходи орієнтовані на максимізацію видобутку і не враховують комплексної задачі оптимізації зберігання CO₂ [2].

Ефективне вирішення цієї проблеми лежить у площині концепції "інтелектуального родовища", де процеси управління базуються на аналізі даних та сучасних обчислювальних методах. Фундаментом такого підходу є гібридне моделювання. Цей процес починається з використання детальних фізичних симуляторів, які точно відтворюють геологію родовища та рух флюїдів у ньому. Далі на основі тисяч розрахунків, виконаних на цьому симуляторі, тренується модель машинного навчання. В результаті створюється швидкий та достовірний "цифровий двійник" родовища, здатний за лічені секунди прогнозувати довгострокові результати будь-якої стратегії закачування.

Швидка прогностична модель, у свою чергу, дозволяє задіяти потужні оптимізаційні алгоритми. Спеціалізований оптимізаційний рушій, що поєднує методи глобального та локального пошуку, автоматично аналізує величезну кількість можливих комбінацій керованих параметрів - тисків, обсягів закачування, тривалості та черговості циклів. На відміну від традиційних підходів, головним завданням цього рушія є пошук такої стратегії управління, яка забезпечить оптимальний баланс між економічною доцільністю проєкту та його ключовою екологічною метою - максимізацією обсягу надійно збереженого CO₂.

Застосування такого комплексного підходу докорінно змінює сам процес прийняття рішень. Він дозволяє перейти від застарілого сценарного аналізу до проактивного управління, де пріоритетом стає досягнення максимальної кліматичної користі. Економічна рентабельність при цьому розглядається не як єдина мета, а як важлива умова, що робить реалізацію екологічної місії можливою. Інтелектуальна система дозволяє кількісно

оцінити компроміси та знайти "золоту середину", за якої проєкт залишається прибутковим, але при цьому депонує максимально можливий обсяг вуглецю [3].

У довгостроковій перспективі значення такого підходу виходить за межі окремих проєктів. Успішні та ефективно керовані проєкти зі зберігання CO₂ в нафтових родовищах створюють прецедент та технологічну базу для ширшого впровадження CCUS. Інфраструктура, побудована сьогодні для цих цілей, завтра може слугувати для декарбонізації інших секторів економіки, таких як виробництво цементу, сталі чи водню, а також для зберігання вуглецю, вловленого безпосередньо з атмосфери.

Таким чином, поєднання гібридного моделювання та інтелектуальної оптимізації є технологічною основою для створення "інтелектуальних родовищ". Цей підхід дозволяє перетворити традиційний процес видобутку вуглеводнів на прагматичний, керований та економічно обґрунтований інструмент для видалення CO₂ з атмосфери. Це робить вуглецево-негативний видобуток нафти не просто теоретичною концепцією, а реальною та досяжною перспективою на шляху до сталого енергетичного майбутнього.

Список використаних джерел:

1. Mirzaei-Paiaman A., Carrasco-Jaim O. A., Okuno R. Techno-economic-environmental study of CO₂ and aqueous formate solution injection for geologic carbon storage and enhanced oil recovery // International Journal of Greenhouse Gas Control. 2024. Vol. 138. Art. 104257. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2024.104257>
2. Petrenko T. Study of physicochemical and geochemical aspects of enhanced oil recovery and CO₂ storage in oil reservoirs // Technology Audit and Production Reserves. 2025. Vol. 2, no. 1(82). P. 24–29. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.325343>
3. Study on Digital Twin Technology to Drilling Performance Improvement and Risk Reduction / H. Wang [et al.]. 2025. DOI: <https://doi.org/10.2118/225043-MS>