

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2025.01.081

ОГЛЯД МЕТОДІВ ШІ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКЛАДІВ ВУГЛЕВОДНІВ З 3D-СЕЙСМІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Дмитрієва І.С.¹, Дмитренко А.М.²

¹Дніпровський металургійний інститут, Український державний університету
науки і технологій, к.т.н., доцент, Україна

²Дніпровський металургійний інститут, Український державний університету
науки і технологій, аспірант, Україна

Анотація. Ця робота досліджує, як методи штучного інтелекту можна використовувати для виявлення потенційних скупчень вуглеводнів за допомогою 3D-сейсмічних зображень. Вона заглиблюється в сучасні досягнення ШІ в інтерпретації сейсмічних даних, охоплюючи такі методи, як згорткові та рекурентні нейронні мережі, графові нейронні мережі та трансформери. У статті також розглядаються значні перешкоди, такі як проблеми з доступністю та якістю навчальних даних, труднощі із застосуванням моделей до нових областей та складнощі, пов'язані з розумінням результатів. Крім того, вона торкається методів підготовки сейсмічних зображень та вилучення релевантних ознак, підходів до роботи з обмеженими даними та пропонує потенційні шляхи для майбутніх досліджень у цій галузі..

Ключові слова: Штучний інтелект, 3D сейсмічні зображення, вуглеводні, прогнозування покладів, згорткові нейронні мережі, рекурентні нейронні мережі, трансформаторні мережі, графові нейронні мережі, сейсмічні атрибути.

Передумова та мета. Зростаючий глобальний попит на енергетичні ресурси посилив потребу в ефективних і точних методах виявлення покладів вуглеводнів. Тривимірна сейсмічна візуалізація надає важливу інформацію про підземні геологічні структури, але традиційна інтерпретація значною мірою покладається на трудомісткий ручний аналіз. Штучний інтелект має потенціал трансформувати цю галузь шляхом автоматизації та покращення аналізу складних 3D-сейсмічних даних, що призводить до ефективніших і точніших прогнозів покладів вуглеводнів.

Нафта і природний газ є одними з головних енергетичних ресурсів сучасного суспільства. Завдяки їхньому застосуванню в промисловості та

побуті науково-технічна революція стала реальністю. Родовища цих ресурсів формуються за різних геологічних умов як на суші, так і в морських басейнах, особливо в шельфових зонах.

Наука про геологію нафтогазових родовищ досліджує процеси їх утворення, закономірності розповсюдження та особливості розташування покладів у геологічних структурах, а також генезу вуглеводнів. Вона розробляє методи прогнозування, пошуку, розвідки та освоєння таких родовищ. Геологія також дозволяє здійснювати підрахунок ресурсів та запасів вуглеводневої сировини в надрах.

Процес перетворення органічної речовини на нафту і газ відбувається таким чином: органічна речовина, що має рослинне або тваринне походження, відкладається в осадових породах. Найсприятливіші умови для цього виникали в прибережних зонах морів, лагунах, затоках, а також в озерах і болотах. Перетворенню органічних речовин на нафту чи газ сприяє відновлювальне середовище.

Історично відомі геологічні закономірності поширення покладів свідчать про переважно органогенне походження вуглеводнів у верхній частині осадової товщі, де зосереджено 90% відомих родовищ нафти й газу. Це підтверджується також ізотопним складом вуглецю у вуглеводнях, який схожий до його складу в органічній матерії.

Штучний інтелект володіє великим потенціалом для перетворення галузі розвідки вуглеводнів через автоматизацію та покращення аналізу складних 3D-сейсмічних даних. Завдяки алгоритмам машинного навчання можливо обробляти значні обсяги даних, автоматично виділяти складні сейсмічні структури та підвищувати точність в інтерпретації цих даних, що веде до ефективних і більш точних прогнозів наявності покладів вуглеводнів. Використання технологій ШІ також здатне оптимізувати робочі процеси розвідки та зменшити ризики, що зрештою сприяє успішним відкриттям і оптимізованим виробничим операціям.

Використання штучного інтелекту у прогнозуванні вуглеводнів з 3D-сейсмічних зображень демонструє значні досягнення завдяки впровадженню

різних моделей машинного навчання та методологій. Серед цих моделей згорткові нейронні мережі (CNN) стали однією з провідних технік через їх високу ефективність в аналізі зображень. Як об'ємні зображення, 3D-сейсмічні дані дозволяють CNN успішно ідентифікувати складні геологічні структури, наприклад, розподіл піщаних тіл, що є критично важливим для оцінки вуглеводневих резервуарів. Дослідження підтверджують ефективність CNN у таких завданнях, як виявлення розломів, класифікація літології та ідентифікація потенційних нафтогазових об'єктів у сейсмічних даних. Рекурентні нейронні мережі (RNN), особливо такі, як мережі з довгою короткостроковою пам'яттю (LSTM), хоча і менш прямо застосовуються до аналізу статичних 3D-сейсмічних обсягів, знайшли своє використання в суміжних завданнях, як-от сейсмічна інверсія імпедансу. Вони ефективно обробляють послідовні дані та можуть бути корисними для аналізу часозалежних сейсмічних даних, наприклад, у 4D-сейсмічному моніторингу резервуарів. Крім архітектур глибокого навчання, традиційні технології машинного навчання, такі як штучні нейронні мережі (ANN), машини опорних векторів (SVM) та випадкові ліси, також залишаються широко використаними для характеристики резервуарів. Ці методи застосовуються для прогнозування важливих властивостей резервуарів, таких як пористість, проникність і літологія, на основі аналізу сейсмічних атрибутів і даних каротажу свердловин. Застосування штучного інтелекту в галузі розвідки вуглеводнів є багатогранним і динамічно розвивається. Моделі глибокого навчання, серед яких згорткові нейронні мережі з самоуважністю (SACNN) та нейронні мережі з оптимізацією роєм частинок мутації (MPSO-ANN), засвідчили значний успіх у прогнозуванні ймовірного розподілу газу в резервуарах, демонструючи високу точність та здатність моделювати складні нелінійні взаємозв'язки в сейсмічних даних. У сфері класифікації літології одновимірні CNN (1D-CNN) і просторово-часові мережі (STNet) довели свою ефективність у точному визначенні типів гірських порід із використанням каротажних даних свердловин, ґрунтуючись на просторовій і часовій інформації, закладеній у цих наборах даних.

Хоча в застосуванні штучного інтелекту для прогнозування вуглеводнів за допомогою 3D-сейсмічних зображень досягнуто значних успіхів, у сучасних дослідженнях існують певні прогалини та обмеження. Однією з основних проблем є нестача великих, якісних та маркованих 3D-сейсмічних даних, необхідних для навчання надійних моделей ШІ. Ефективність моделей, особливо тих, які базуються на архітектурі глибокого навчання, залежить від кількості та якості даних, які використовуються для їх навчання. В геофізиці отримання таких об'ємних і точно маркованих наборів даних часто є трудомістким і потребує значних ресурсів. Крім того, самі сейсмічні дані можуть містити шум, артефакти і мати обмежену роздільну здатність через обмеження в процесі збору та складність підповерхневих структур. Дані каротажу свердловин, які використовуються як база для навчання моделей ШІ з метою прогнозування властивостей резервуарів, також можуть бути недостатньо детальними, неповними або не повністю відображати різноманітність умов резервуару. Ще одним значним обмеженням є проблема узагальнення: моделі ШІ, розроблені на основі даних з одного геологічного середовища, часто не функціонують адекватно на даних з різних регіонів з іншими геологічними характеристиками. Для збереження точності часто потрібно адаптувати модель до специфіки нових даних, що підкреслює, що попередньо навчена модель може не бути безпосередньо застосовною в інших геологічних умовах.

Висновок. Створення великих, різноманітних та добре маркованих 3D-сейсмічних наборів даних є ключовим для забезпечення справедливих і відтворюваних порівнянь різних моделей ШІ та методик. Майбутні дослідження варто спрямувати на поєднання мультимодальних джерел даних, таких як сейсмічні дані, каротаж свердловин, геологічні карти та інформація з дистанційного зондування, щоб за допомогою технологій ШІ отримати глибше розуміння підповерхневої перспективи вуглеводнів. Крім того, кількісна оцінка невизначеності в прогнозуванні вуглеводневих ресурсів за допомогою ШІ буде важливою для створення надійних оцінок ризику та підтримки прийняття обґрунтованих рішень у сфері розвідки та розробки.

ЛІТЕРАТУРА

1. “Machine Learning in Oil and Gas Exploration - A Review”, Ahmad Lawal, Yingjie Yang, Hongmei He, Nathaniel L. Baisa, January 2024, IEEE Access PP(99):1-1, DOI:10.1109/ACCESS.2023.3349216.
2. “Enhancing Oil And Gas Exploration Efficiency Through Ai-Driven Seismic Imaging And Data Analysis”, Gideon Oluseyi Daramola, Boma Sonimiteim Jacks, Olakunle Abayomi Ajala, Abiodun Emmanuel Akinoso, Engineering Science & Technology Journal, P-ISSN: 2708-8944, E-ISSN: 2708-8952, Volume 5, Issue 4, P.No. 1473-1486, April 2024.
3. “A Review of AI Applications in Unconventional Oil and Gas Exploration and Development”, Feiyu Chen, Linghui Sun, Boyu Jiang, Xu Huo, Xiuxiu Pan, Chun Feng, Zhirong Zhang. Energies 2025, 18(2), 391. doi.org/10.3390/en18020391.
4. “A novel seismic inversion method based on multiple attributes and machine learning for hydrocarbon reservoir prediction”, Zongbin Liu, Jianmin Zhu, Bo Tian, Rui Zhang, Yongheng Fu, Yuan Liu, Front. Earth Sci., December 2024, Sec. Economic Geology, Volume 12 - 2024, doi.org/10.3389/feart.2024.1498164
5. “Transformer and CNN Hybrid Neural Network for Seismic Impedance Inversion”, Chunyu Ning, Bangyu Wu, Zhaolin Zhu, DOI:10.1109/IGARSS52108.2023.10281611, IGARSS 2023 - 2023 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium.
6. Дмитрієва І.С., Дмитренко А.М Використання методу опорних векторів на прикладі прогнозування властивостей покладів вуглеводнів / Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні. Квітень 2024. Дніпро. с. 227-231 <https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2024.01.040>

REVIEW OF AI METHODS FOR PREDICTING HYDROCARBON DEPOSITS FROM 3D SEISMIC IMAGES

Dmytriieva I.S., Dmytrenko A.M.

Abstract. *This work investigates how artificial intelligence techniques can be used to identify potential hydrocarbon accumulations using 3D seismic imagery. It delves into current AI progress for interpreting seismic data, covering methods like convolutional and recurrent neural networks, graph neural networks, and transformers. The paper also addresses significant obstacles, such as problems with the availability and quality of training data, difficulties in applying models to new areas, and the complexities involved in understanding the results. Furthermore, it touches upon techniques for preparing seismic images and extracting relevant features, approaches for dealing with sparse data, and suggests potential avenues for future investigation in this domain.*

Keywords *Artificial intelligence, 3D seismic images, hydrocarbons, deposit prediction, convolutional neural networks, recurrent neural networks, transformer networks, graph neural networks, seismic attributes.*

REFERENCE

1. “Machine Learning in Oil and Gas Exploration - A Review”, Ahmad Lawal, Yingjie Yang, Hongmei He, Nathaniel L. Baisa, January 2024, IEEE Access PP(99):1-1, DOI:10.1109/ACCESS.2023.3349216.
2. “Enhancing Oil And Gas Exploration Efficiency Through Ai-Driven Seismic Imaging And Data Analysis”, Gideon Oluseyi Daramola, Boma Sonimiteim Jacks, Olakunle Abayomi Ajala, Abiodun Emmanuel Akinoso, Engineering Science & Technology Journal, P-ISSN: 2708-8944, E-ISSN: 2708-8952, Volume 5, Issue 4, P.No. 1473-1486, April 2024.
3. “A Review of AI Applications in Unconventional Oil and Gas Exploration and Development”, Feiyu Chen, Linghui Sun, Boyu Jiang, Xu Huo, Xiuxiu Pan, Chun Feng, Zhirong Zhang. Energies 2025, 18(2), 391. doi.org/10.3390/en18020391.
4. “A novel seismic inversion method based on multiple attributes and machine learning for hydrocarbon reservoir prediction”, Zongbin Liu, Jianmin Zhu, Bo Tian, Rui Zhang, Yongheng Fu, Yuan Liu, Front. Earth Sci., December 2024, Sec. Economic Geology, Volume 12 - 2024, doi.org/10.3389/feart.2024.1498164
5. “Transformer and CNN Hybrid Neural Network for Seismic Impedance Inversion”, Chunyu Ning, Bangyu Wu, Zhaolin Zhu, DOI:10.1109/IGARSS52108.2023.10281611, IGARSS 2023 - 2023 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium.
6. Dmytriieva I.S, Dmytrenko A.M Vykorystannia metodu opornykh vektoriv na prykladi prohozuvannia vlastyvostei pokladiv vuhlevodniv / Materialy Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii Informatsiini tekhnolohii v metalurhii ta mashynobuduvanni. Kviten 2024. Dnipro. s. 227-231 <https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2024.01.040>