

УДК 622.276:004.896

JEL C80, C88, D80, D83, O30, O33

DOI: 10.31471/2409-0948-2023-1(27)-16-26

**Кочкодан Володимир Богданович**  
кандидат економічних наук, доцент  
доцент кафедри менеджменту та адміністрування  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15  
e-mail: k.volodya@gmail.com  
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5962-9741>

**Петрина Марія Юрївна**  
кандидат економічних наук, доцент  
доцент кафедри менеджменту та адміністрування  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15  
e-mail: petrynamy@gmail.com  
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2233-6341>

**Станьковська Ірина Мирославівна**  
кандидат економічних наук, доцент  
доцент кафедри менеджменту та адміністрування  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15  
e-mail: irinastankovska@i.ua  
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7298-4449>

## **ЗАСТОСУВАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В РОЗРОБЦІ НАФТОВИХ РОДОВИЩ**

**Анотація.** У статті розглянуто технології штучного інтелекту, що використовуються в нафтовій галузі, наведено порівняння переваг та недоліків основних існуючих алгоритмів штучного інтелекту, що застосовуються в динамічному прогнозуванні видобутку нафти, в оптимізації розробки, в ідентифікації залишкової нафти, в ідентифікації тріщин в родовищах і в підвищенні видобутку нафти; розроблено рекомендації стосовно застосування штучного інтелекту в розробці нафтових родовищ. Для дослідження використано методи порівняння, синтезу, узагальнення та системного підходу.

Зазначено, що інтелектуальне нафтове родовище - це розширена версія цифрового нафтового родовища, яка представляє собою передову систему автоматичної ідентифікації, що охоплює всі аспекти нафтового родовища на основі застосування передових технологій автоматизації та штучного інтелекту, а також сенсорних та професійних технологій.

Встановлено, що в нафтовій галузі використовуються такі технології штучного інтелекту, як штучні нейронні мережі (ANN), нечітка логіка, метод опорних векторів (SVM), гібридні інтелектуальні системи (HIS), генетичні алгоритми (GA), оптимізація роєм частинок (PSO) тощо.

Досліджено сфери застосування ШІ-технологій в розробці та експлуатації нафтових родовищ, наведено переваги та недоліки окремих ШІ-технологій, що застосовуються для

вирішення тих чи інших питань, пов'язаних з прогнозуванням показників видобутку нафти, оптимізацією плану розвитку родовища, ідентифікацією залишкової нафти, виявленню розривів пластів, підвищенням нафтовіддачі третинними методами видобутку нафти, підвищенням безпеки праці.

Визначено, що штучні нейронні мережі зворотного поширення є найзрілішим ШІ-алгоритмом, що використовується в інтелектуалізації нафтових родовищ, однак його доцільно оптимізувати шляхом комбінації з алгоритмом методу опорних векторів та генетичним алгоритмом для досягнення кращої продуктивності в моніторингу та прогнозуванні швидкості видобутку нафти. Акцентовано увагу на тому, що збір та обробка даних є ключовим моментом в інтелектуалізації нафтових родовищ і замість того, щоб сліпо довіряти результатам, отриманим від застосування ШІ-алгоритмів, аналіз та інтерпретація таких результатів повинні бути зведені в замкнутий цикл задля точнішого вирішення практичних проблем.

**Ключові слова:** штучний інтелект, цифрове нафтове родовище, інтелектуальне нафтове родовище, штучні нейронні мережі, гібридні інтелектуальні системи.

**Kochkodan Volodymyr Bohdanovych**  
Candidate of Economic Sciences, Docent  
Docent of Management and Administration Department  
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas  
76019, Ivano-Frankivsk, Karpatska street, 15  
e-mail: k.volodya@gmail.com  
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5962-9741>

**Petryna Mariya Yuriivna**  
Candidate of Economic Sciences, Docent  
Docent of Management and Administration Department  
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas  
76019, Ivano-Frankivsk, Karpatska street, 15  
e-mail: petrynamy@gmail.com  
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2233-6341>

**Stankovska Iryna Myroslavivna**  
Candidate of Economic Sciences, Docent  
Docent of Management and Administration Department  
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas  
76019, Ivano-Frankivsk, Karpatska street, 15  
e-mail: irinastankovska@i.ua  
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7298-4449>

## APPLICATION OF MACHINE LEARNING AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN OILFIELD DEVELOPMENT

**Abstract.** The article examines artificial intelligence technologies used in the oil industry, compares the advantages and disadvantages of the main existing artificial intelligence algorithms used in dynamic oil production forecasting, development optimization, identification of residual oil, identification of reservoirs' fractures, and oil production enhancement; recommendations were developed regarding the use of artificial intelligence in oilfield development. The methods of comparison, synthesis, generalization and system approach were used for the research.

It is noted that the intelligent oilfield is an advanced version of the digital oilfield, in other words it is an advanced automatic identification system covering all aspects of the oilfield based

on the application of advanced automation and artificial intelligence technologies, as well as sensor and professional technologies.

Artificial intelligence technologies such as artificial neural networks (ANN), fuzzy logic, support vector method (SVM), hybrid intelligent systems (HIS), genetic algorithms (GA), particle swarm optimization (PSO), etc. have been found to be used in the oil industry.

The areas of application of AI technologies in the development and exploitation of oilfields are studied, the advantages and disadvantages of individual AI technologies used to solve certain issues related to oil production indicators forecasting, oilfield development plan optimization, residual oil identification, reservoir fracturing detection, enhanced oil recovery, labor safety increase.

Back-propagation artificial neural networks have been found to be the most mature AI algorithm used in intelligent oilfields, but it is advisable to optimize it by combining with the support vector method algorithm and genetic algorithm to achieve better performance in monitoring and forecasting the oil production rate. Attention is drawn to the fact that data collection and processing is a key point in the intellectualization of oilfields, and instead of blindly trusting the results obtained from the application of AI algorithms, the analysis and interpretation of such results should be reduced to a closed loop for a more accurate solution to practical problems.

**Keywords:** artificial intelligence, digital oilfield, intelligent oilfield, artificial neural networks, hybrid intelligent systems.

**Вступ.** Штучний інтелект (ШІ) веде свою історію з 1950 року, коли британський математик Алан Тюрінг поставив відоме запитання: «Чи можуть машини мислити?». Офіційно вважається, що штучний інтелект як наукова дисципліна зародився в 1956 році, коли в Дартмутському коледжі на першій конференції зі штучного інтелекту зібралася невелика група дослідників на чолі з Джоном Маккарті. Потім настала перша весна штучного інтелекту, коли ШІ почали застосовувати в різних сферах. На думку низки експертів того часу, машини повинні були замінити людину в багатьох галузях. Проте, вже в 70-х роках минулого століття розвиток штучного інтелекту сповільнився через неможливість реалізувати масштабну або складну роботу. За декілька років, з широким використанням експертних систем, ШІ знову почав процвітати. Однак, оскільки експертні системи вимагали значних потужностей для обробки інформації і високих витрат на обслуговування, істотного прориву у використанні систем на основі ШІ не було. Вдосконалення роботи ШІ-систем відбулося завдяки стрімкому розвитку комп'ютерної техніки наприкінці 1990-х років. Після більш ніж 60 років злетів і падінь ШІ повернувся в центр уваги у 2016 році, коли програма AlphaGo від Google обіграла чемпіона світу з гри в го, набагато складнішої, ніж шахи або шашки [1]. Потім у 2017 році з'явилася AlphaGo Zero з високошвидкісним самонавчанням без участі людини, що викликало підвищену увагу усіх верств суспільства та принесло нові ідеї щодо розвитку ШІ в різних сферах. З розвитком хмарних обчислень, великих даних, штучних нейронних мереж, глибокого навчання та інших новітніх технологій можна сказати, що ШІ зробив значний стрибок у своєму розвитку і змінив наше повсякденне життя. Автомобілі без водія, точне розпізнавання облич та інші програми штучного інтелекту більше не є лише вигадками в науковій фантастиці. ШІ застосовують в усіх аспектах повсякденного життя, в усіх галузях економіки. Нафтова промисловість також використовує технології на основі ШІ-систем, що забезпечує нові технологічні прориви в розвідці, розробці, видобутку та транспортуванні нафти.

Технології штучного інтелекту, що використовуються в нафтовій галузі, включають в себе штучні нейронні мережі (ANN), нечітку логіку, метод опорних векторів (SVM), гібридні інтелектуальні системи (HIS), генетичні алгоритми (GA), оптимізацію роєм частинок (PSO) тощо. В даний час зростає застосування ШІ-систем в нафтовій промисловості, оскільки концепція ШІ поступово проникає в різні етапи галузі, такі як

пошук, буріння, видобування, транспортування та переробка нафти. За допомогою алгоритмів штучного інтелекту розробники запропонували низку практичних технологій застосування в розвідці та розробці. У сфері розвідки використання методу штучних нейронних мереж вже дало хороші результати щодо зниження ризиків розвідки та підвищення ефективності розвідувальних свердловин [2]. У сфері буріння нове обладнання, таке як автоматична бурова установка та інтелектуальна бурильна труба, дозволило значно знизити вартість робіт [3]. При розробці нафтових родовищ, орієнтуючись на історичні дані видобутку нафти, за допомогою III-технологій проводиться оптимізація плану розробки. Системи на основі штучного інтелекту також забезпечують точніший метод вибору цільових пластів, розробки схем їх гідророзриву, вибору місця розташування свердловин, що максимізують видобуток вуглеводнів з родовища.

**Аналіз сучасних зарубіжних і вітчизняних досліджень і публікацій.** Вагомий внесок у дослідження застосування машинного навчання та штучного інтелекту в розробці нафтових родовищ зробили провідні зарубіжні вчені, зокрема Taylor W., Havaluddin H., Alfred R., Oliveira D., Reynolds A., Temizel C., Canbaz C. H., Palabiyik Y., Putra D., Asena A., Ranjith R., Kittiphong J. A., Wanasinghe T., Wroblewski L., Petersen B., Gosine R., James L., De Silva O., Mann G.K.I., Warriar P., Thomas E. C., Mohmad N., Mandal D., Amat H., Sabzabadi A., Masoudi R., Sircar A., Yadav K., Rayavarapu K., Bist N., Oza H., Xiping L., Qingbin X., Mingyu H., Quanyou L., Morozov V., Chen B., Pawar R. J., Shelley R. F., Lechner J. P., Zangl G. та ін. У роботах зазначених вчених досліджено сценарії застосування машинного навчання та інтелектуальних технологій задля підвищення ефективності діяльності нафтових компаній, а також оцінено вплив технологій штучного інтелекту на економічні показники діяльності підприємств.

**Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми, якій присвячується стаття.** Незважаючи на значну кількість проведених досліджень із використання III-систем для підвищення ефективності господарської діяльності, отримано мало конкретних підсумків і висновків щодо застосування технологій штучного інтелекту в галузі розробки нафтових родовищ. Прогноз продуктивності видобутку, оптимізація розробки, ідентифікація залишкової нафти, підвищення видобутку нафти, правильна ідентифікація та прогнозування штучних тріщин в родовищах є основними завданнями розробки нафтових родовищ. Для ефективного використання технологій штучного інтелекту нафтовими підприємствами важливим є проаналізувати та узагальнити наявні досягнення.

**Формулювання цілей статті.** Метою даної роботи є порівняння переваг та недоліків основних існуючих алгоритмів штучного інтелекту, що застосовуються в динамічному прогнозуванні видобутку нафти, в оптимізації розробки, в ідентифікації залишкової нафти, в ідентифікації тріщин в родовищах і в підвищенні видобутку нафти; а також розробка рекомендацій стосовно застосування штучного інтелекту в розробці нафтових родовищ.

**Висвітлення основного матеріалу.** В даний час розробка нафтового родовища передбачає опрацювання величезного обсягу даних, з чого випливає, що без інтеграції ресурсів та автоматичного управління неможливо досягти високої ефективності діяльності. Цифрове нафтове родовище - це використання передових управлінських практик, доповнене інформаційними технологіями, що застосовуються на усіх етапах від розвідки до видобутку [4, 5]. Таким чином, цифрові нафтопромислові підприємства є більш ефективними та конкурентоспроможними порівняно з їх традиційними аналогами. В свою чергу, інтелектуальне нафтове родовище - це розширена версія цифрового нафтового родовища, яка представляє собою передову систему автоматичної ідентифікації, що охоплює всі аспекти нафтового родовища на основі застосування передових технологій автоматизації та штучного інтелекту, а також сенсорних та професійних технологій. Інтелектуальне нафтове родовище відіграє провідну роль в

інформатизації діяльності нафтопромислових підприємств та формує майбутній тренд їх діяльності [6], оскільки забезпечує зниження собівартості видобутку нафти, збільшує відсоток її видобутку з пласта, підвищує ефективність управління підприємствами та сприяє економічному та соціальному їх розвитку. Основним напрямком розвитку системи цифрового нафтового родовища є створення інтелектуального нафтового родовища, яке використовуватиме новітні технології Інтернету речей (IoT), хмарних обчислень, великих даних тощо для оптимізації операційної діяльності, зниження витрат, підвищення якості робіт та зростання ефективності суб'єкта господарювання.

За результатами досліджень компанії Vantage Market Research, глобальний ринок технологій інтелектуальних нафтових родовищ в 2022 році оцінено в 25,44 млрд. дол. США; також очікується, що до 2030 року розмір даного ринку досягне 40,57 млрд. дол. США, щорічно зростаючи на 6 % відносно 2022 року. Одним із головних факторів росту ринку є зростаюча тенденція нафтових компаній до автоматизації операцій, іншим фактором є все більше використання штучного інтелекту в бізнесі [7].

В останні десятиліття низка компаній запустили інтелектуальні проекти нафтових родовищ, щоб покращити якість управління та прийняття рішень. Цифрове нафтове родовище Кувейтської національної нафтової корпорації було модернізовано до інтелектуального шляхом інтеграції наземних і підземних систем [8]. Програмне забезпечення платформи багатовимірного середовища розвідки та розробки, запущене компанією Шлюмберже, забезпечує автоматизацію проектування буріння з використанням Інтернету речей та ШІ-технології «цифрового двійника» [9]. Крім того, інтелектуальні помічники на основі штучного інтелекту, такі як віртуальний помічник нафтового родовища та інтелектуальний нафтопромисловий додаток, можуть не тільки замінити людей для робіт з високою небезпекою, але й зменшити обсяг рутинної роботи [10].

Технології штучного інтелекту є надзвичайно важливим інструментом в розробці та експлуатації нафтових родовищ, зокрема за допомогою оптимізації розробки на основі історичних даних про видобуток нафти. Використання великих даних вимагає вивчення їх цінності та виявлення, за допомогою ШІ-систем, прихованої, раніше невідомої і потенційно цінної інформації. Однак, застосування штучного інтелекту в нафтовій промисловості пов'язане зі специфікою даних, які необхідно опрацьовувати, оскільки, крім великого обсягу, їх отримують з багатьох джерел. Крім того, такі дані є неструктурованими, мають складний формат та отримані з об'єктів дослідження, що є вкрай неоднорідними. Застосування великих даних одночасно з безперервним удосконаленням алгоритмів штучного інтелекту відіграє все важливішу роль у сфері розробки нафтових родовищ. Крім того, поєднання з іншими сучасними технологіями, такими як хмарні обчислення, Інтернет речей, віртуальна реальність, стає важливим способом зниження витрат та підвищення ефективності компаній у сфері НГК.

В розробці та експлуатації нафтових родовищ використовуються різні алгоритми штучного інтелекту, найстаршим з яких є алгоритм штучної нейронної мережі (ANN) Маккалоха - Пітса (1943 р.). Він є найбільш поширеним та простим алгоритмом, проте вимагає високої якості вхідних параметрів. Використання методу нечіткої логіки Заде (1965 р.) не потребує точної математичної моделі, проте точність такого підходу є низькою. Метод генетичного алгоритму (GA) Холанда (1970 р.) має високий рівень паралелізації, може швидко знаходити рішення і легко поєднується з іншими алгоритмами, проте його процес програмування є складним, а час навчання довгим. Метод оптимізації роєм частинок (PSO) Еберхарта та Кеннеді (1995 р.) легко реалізовується та може бути використаний без попереднього знання деталей задачі, але його точність є низькою. Метод опорних векторів (SVM) Вапника та Кортес (1995 р.) підходить для навчання на обмежених вибірках та є чутливим до реальних даних. Хоча ці алгоритми й мають певні обмеження, правильний вибір та застосування відповідного алгоритму, або ж їх поєднання, є ключовим для успішного вирішення проблем.

Розглянемо сфери застосування ШІ-технологій в розробці та експлуатації нафтових родовищ.

1. ШІ-технології в роботі з попередньо накопиченими даними з родовища. Одним із головних завдань при розробці нафтових родовищ є складання обґрунтованого плану розвитку на основі наявних даних. Проте, внаслідок високої складності фактичної розробки нафтових родовищ, яка залежить від багатьох факторів, прогнозування майбутнього розвитку шляхом використання накопичених історичних даних з родовища є вельми складним завданням, якщо таке прогнозування відбуватиметься звичайними методами. В таких випадках допомагає використання нейронних мереж та інших технологій штучного інтелекту, що дозволяє, опираючись на накопичені дані розробки родовища, ефективно фіксувати нелінійність проблем з високою швидкістю збігу та точністю.

2. ШІ-технології в динамічному прогнозуванні показників видобутку нафти. Прогнозування показників видобутку нафти відіграє важливу роль у дослідженнях з розробки пластів на нафтових родовищах. Показники видобутку в основному використовуються для оцінки поточного стану розробки нафтових родовищ (наприклад, обсягів закачування води в пласт, кумулятивного обсягу видобутку нафти тощо) та прогнозування тенденцій динамічних змін (наприклад, швидкість видобутку нафти, швидкість зростання обводнення пластів тощо). Методи динамічного аналізу видобутку нафти можна розділити на такі, що потребують даних про видобуток (метод чисельного моделювання нафтових родовищ, метод характеристичної кривої, метод падіння видобутку, метод матеріального балансу тощо) і на такі, що даних про видобуток не потребують (метод аналогій, метод емпіричних формул і метод діаграм) [11]. Хоча згадані вище методи застосовувалися для прогнозування видобутку нафти протягом багатьох років, вони все ще мають певні обмеження через існування різноманітних складних факторів, які впливають на динамічне прогнозування показників видобутку. В даний час набуває поширення метод прогнозування показників продуктивності видобутку нафти, заснований на штучному інтелекті, де використовується нейронна мережа в поєднанні з нечіткою теорією або інтелектуальним алгоритмом, що дозволяє досягати високої точності, опираючись на статичні і динамічні дані видобутку.

Варто зазначити, що на сьогодні в процесі розробки нафтових родовищ застосовується багато алгоритмів штучного інтелекту, результати моделювання яких зосереджені на показниках видобутку вуглеводнів і вмісті води у видобутій суміші, в той час як швидкості видобутку нафти приділяється мало уваги. Для прикладу, штучні нейронні мережі зворотного поширення є найбільш широко використовуваним і найбільш зрілим алгоритмом штучного інтелекту, що використовується для динамічного прогнозування видобутку вуглеводнів на даний момент [12]. Такий алгоритм доцільно оптимізувати шляхом комбінації з алгоритмом методу опорних векторів та генетичним алгоритмом, що дозволить створити новітню динамічну ШІ-технологію моніторингу та прогнозування швидкості видобутку нафти. Ця технологія має потенціал для розробки системи динамічного прогнозування дебету родовища з багатьма свердловинами, що враховуватиме інтерференцію між свердловинами та між пластами на основі підвищення точності прогнозування видобутку з однієї свердловини.

3. ШІ-технології в оптимізації плану розвитку родовища. Розробка родовищ нафти передбачає формування відповідного плану розвитку, необхідного для забезпечення подовженого циклу життя свердловин та максимізації видобутку вуглеводнів з родовища. У 1960-х роках метод лінійного програмування вже застосовував оптимізацію з метою підвищення ефективності видобутку з однорідних пластів, проте в ті часи оптимізації розробки нафтових родовищ не приділялося багато уваги. В кінці минулого століття ситуація навколо розвитку нафтових родовищ змінилася, що призвело до гострої необхідності вирішення питання оптимізації планів розвитку [13]. При тривалій розробці родовища шляхом закачування води в пласт таке родовище вступає в період високого

обводнення, внаслідок чого проявляється велика неоднорідність між пластами і дебет свердловин різко падає. Ці проблеми можна вирішити за допомогою таких алгоритмів штучного інтелекту як нечіткий кластерний аналіз та нейронні мережі.

Завдяки прогресу комп'ютерних технологій в кінці 90-х років минулого століття великі компанії почали звертати більше уваги на оцінку та оптимізацію плану розробки родовищ, оскільки такий план безпосередньо впливає на тривалість життєвого циклу та ефективність нафтових родовищ. Внаслідок взаємного впливу техніко-економічних та соціальних показників під час оптимізації плану розробки родовища важко оцінити виконання такого плану за якимось єдиним показником. Саме тому необхідно створити ефективний метод оцінки та оптимізації плану розробки з використанням нового алгоритму інтелектуальної оптимізації, оскільки традиційні методи, які наразі застосовуються, є відносно односторонніми та втрачають свою актуальність. Вдосконалена оптимізація плану розробки нафтового родовища повинна включати багато аспектів, а не опиратися виключно на економічний чи виробничий аспекти. Динамічна оптимізація плану розробки може бути досягнута шляхом поєднання використання раніше накопичених даних з нафтовилучення, геологічних даних, даних динамічного моніторингу нафтовидобутку та даних оцінювання економічної вигоди від розробки родовища в реальному часі. Весь цей процес повинен бути стандартизований та базуватися на алгоритмах штучного інтелекту.

4. ШІ-технології в ідентифікації залишкової нафти. ШІ-технології ідентифікації активно використовуються для розпізнавання облич та відбитків пальців, проте такі технології можуть відігравати значну роль й у нафтовій промисловості. У процесі розробки нафтового родовища ідентифікація залишкової нафти могла б забезпечити необхідну передумову для коригування плану розробки. До методів дослідження розподілу залишкової нафти відносять геологічний метод, пластову інженерію, випробування свердловин, метод чисельного моделювання та лабораторних експериментів. Такі дослідження в основному зосереджені на описі розподілу залишкової нафти, моніторингу її насиченості тощо [14]. Фактори, що впливають на розподіл залишкової нафти, можна розділити на два типи: геологічні фактори (неоднорідність пластів, їх структура, розломи тощо) і фактори розробки (зв'язок нагнітання та видобутку, розподіл свердловин, динаміка видобутку тощо). Сукупний вплив цих факторів призводить до різноманітності розподілу залишків нафти в пласті, що, в свою чергу, потребує використання різних механізмів витіснення для різних типів залишкової нафти. Це встановлює бар'єри для видобування залишкової нафти та знижує ефективність її видобутку. Традиційні методи моделювання включають детерміноване та стохастичне моделювання, але вони не можуть передбачити зміну параметрів пласта в часі [15]. Тому для ефективнішої ідентифікації залишкової нафти важливо інтегрувати ШІ-технології у вже існуючі інструменти, для чого, в першу чергу, необхідно вивчити передові технічні методи, що застосовуються в інших галузях (наприклад, оптимізація маршрутів на інтелектуальних картах, швидка ідентифікація тощо).

5. ШІ-технології у виявленні розривів пластів. Значний вплив на продуктивність нафтових родовищ, особливо нетрадиційних (сланцевих), мають природні та штучні розриви, тому робота з ідентифікації таких розривів має велике значення. Майже всі традиційні нафтоносні пласти мають природні розриви, а в процесі розробки сланцевих родовищ багато штучних розривів утворюються в результаті здійснення гідророзриву пласта [16]. Дослідження розривів розділяють на якісний та кількісний аспекти: спочатку якісно визначають розриви та повторно досліджують пласти, а потім кількісно розраховують розподіл розривів (азимут, довжину, відкритість, пористість тощо). Незважаючи на те, що було проведено багато досліджень щодо ідентифікації розривів, через значну гетерогенність пластів та складні характеристики просочування, спричинені розривами, точна їх ідентифікація залишається ключовою проблемою, яка все ще потребує свого вирішення. Процес ідентифікації розривів є складним, оскільки нафтові

пласти містять природні, штучні та індуковані розриви, а параметри для їх ідентифікації в основному ґрунтуються на даних каротажу. Застосування ШІ-технологій для ідентифікації розривів пластів повинно стати новим надійним методом дослідження. Точність ідентифікації пластових розривів підвищиться за рахунок одночасного опрацювання ШІ-алгоритмами сейсмічних даних та даних каротажу, що забезпечить отримання динамічної інформації в режимі реального часу та дозволить проводити комплексне дослідження формування, розкриття та закриття розривів. В результаті цього керівництво компанії матиме можливість зробити обґрунтований аналіз та інтерпретацію результатів ідентифікації, на основі яких прийматиме рішення щодо оптимізації плану розробки нафтового родовища.

6. ШІ-технології у підвищенні нафтовіддачі третинними методами видобутку нафти. Починаючи з 1950-х років, третинні методи видобутку нафти почали відігравати важливу роль у розробці нафтових родовищ, оскільки вони забезпечували зростання коефіцієнту нафтовилучення з пласта з 20%-50% до 30%-70%. Традиційне підвищення нафтовіддачі в третинних методах досягається завдяки нагнітання вуглекислого газу, закачуванню хімічних реагентів, циклічному нагнітання пари в пласт або створенню внутрішньопластового горіння [17, с. 194]. Застосування технологій штучного інтелекту для підвищення нафтовіддачі третинними методами видобутку нафти в основному є симуляційним прогнозуванням, яке може значно підвищити ефективність і точність робіт в польових умовах, для чого потрібно проводити відповідне тестування. Зазначимо, що зв'язок між вхідними та вихідними параметрами моделей потребує додаткового вивчення.

7. ШІ-технології в підвищенні безпеки праці. Видобуток нафти, як і будь-яка інша діяльність, потребує наявності працівників на робочих місцях, і створення безпечних умов праці для них є пріоритетним завданням керівництва. Виробнича діяльність проводиться на об'єктах з підвищеною небезпекою, де присутні системи моніторингу оточуючого середовища, які відповідають за безпеку працівників. Проте, через значну складність та невизначеність умов, в яких проводяться підземні роботи, традиційним технологіям моніторингу важко вчасно помітити аномальні ситуації. В такому випадку на допомогу можуть прийти ШІ-технології, які, завдяки глибокому навчанню на основі великих даних і своєчасному прийняттю рішень відповідно до фактичної ситуації, забезпечуватимуть підвищення точності діагностики впливу небезпечних факторів на персонал та заощаджуватимуть витрати часу та ресурсів.

Завдяки застосуванню технологій штучного інтелекту можна швидше виконувати ідентифікацію проблем, що виникають в процесі розробки нафтових родовищ. Для прикладу, вже використовуються ШІ-системи раннього попередження аварійних ситуацій на експлуатаційних свердловинах, що базуються пошуку незначних аномалій в пластових тисках. Проте, такі системи все ще далекі від ідеалу. Тому необхідно підвищувати точність розпізнавання та діагностики ШІ-алгоритмів раннього попередження аварійних ситуацій, а результатами такої діагностики повинні бути своєчасні управлінські рішення, спрямовані на посилення безпеки персоналу.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** На основі дослідження застосування технологій штучного інтелекту в розробці нафтових родовищ можна зробити висновок, що інтелектуальне нафтове родовище знаходиться на шляху до інтеграції бізнес-додатків, координації рішень з управління виробництвом, візуалізації усесторонніх досліджень та обміну інформацією в режимі реального часу. Інтелектуальне нафтове родовище згодом стане екосистемою, яка об'єднуватиме управління процесами розвідки, розробки, транспортування та переробки нафти. Завдяки сформованій екосистемі можна буде приймати ефективніші, якісніші управлінські рішення, спрямовані на продовження життєвого циклу нафтового родовища, зниження експлуатаційних витрат та збільшення економічної вигоди бізнесу.

Найпоширенішим і найпростішим алгоритмом для інтелектуалізації нафтових родовищ є штучні нейронні мережі, але вони мають підвищені вимоги до вхідних



параметрів. Метод оптимізації роєм частинок легко реалізується та може бути використаний без попереднього знання деталей задачі, але його точність є низькою. Метод нечіткої логіки не потребує точної математичної моделі, проте точність такого підходу є низькою. Метод опорних векторів підходить для навчання на обмежених вибірках та є чутливим до реальних даних. Метод генетичного алгоритму має високий рівень паралелізації, може швидко знаходити рішення і легко поєднується з іншими алгоритмами, проте його процес програмування є складним, а час навчання довгим. Незважаючи на обмеження кожного з цих алгоритмів, вибір та застосування відповідного алгоритму, або їх поєднання, є ключем до успішного вирішення проблем.

Штучні нейронні мережі зворотного поширення є найзрілішим ШІ-алгоритмом, що використовується в інтелектуалізації нафтових родовищ. Проте, для досягнення кращої продуктивності в моніторингу та прогнозуванні швидкості видобутку нафти його доцільно оптимізувати шляхом комбінації з алгоритмом методу опорних векторів та генетичним алгоритмом.

Точність результатів роботи алгоритмів штучного інтелекту суттєво залежить від вхідних даних, крім того такі алгоритми не завжди беруть до уваги фізичні зв'язки між різними параметрами. Таким чином, збір та обробка даних є ключовим моментом в інтелектуалізації нафтових родовищ і замість того, щоб сліпо довіряти результатам, отриманим від застосування ШІ-алгоритмів, аналіз та інтерпретація таких результатів повинні бути зведені в замкнутий цикл задля точнішого вирішення практичних проблем.

Для інтелектуалізації нафтових родовищ все ще вимагаються додаткові зусилля, тому подальші дослідження стосуватимуться оцінювання потенціалу вітчизняних нафтових підприємств для використання та обміну великими даними, а також інтеграції інтелектуальних систем на різних етапах розробки родовищ.

### **Література**

1. Metz C. How Google's AI Viewed the Move No Human Could Understand, Wired, March 14, 2016. URL: <https://www.wired.com/2016/03/googles-ai-viewed-move-no-human-understand/>. (дата звернення 24.04.2023).
2. Taylor W. Chevron's Digital Oilfields Solutions and Base Business Processes Maximize Value at McElroy Field, West Texas. 2012. DOI: 10.2118/149668-MS. (дата звернення 24.04.2023).
3. Feng Yumin, Zhang Hui, Xie Wenman, et al. Smart oilfield is the future of oilfield development. *Information system Engineering*. 2012. №6. pp. 101-103.
4. Haviluddin H., Alfred R. A genetic-based backpropagation neural network for forecasting in time-series data. *2015 International Conference on Science in Information Technology (ICSITech)*. pp. 158-163. DOI: 10.1109/ICSITech.2015.7407796. (дата звернення 25.04.2023).
5. Oliveira D., Reynolds A. An Adaptive Hierarchical Algorithm for Estimation of Optimal Well Controls. *SPE Reservoir Simulation Symposium, 18-20 February 2013, The Woodlands, Texas*. USA. DOI: 10.2118/163645-MS. (дата звернення 25.04.2023).
6. Temizel C., Canbaz C. H., Palabiyik Y., Putra D., Asena A., Ranjith R., Kittiphong J. A. Comprehensive Review of Smart/Intelligent Oilfield Technologies and Applications in the Oil and Gas Industry. *SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference, Manama, Bahrain, March 2019*. DOI: 10.2118/195095-MS. (дата звернення 25.04.2023).
7. Digital Oilfield Market - Global Industry Assessment & Forecast. 2023. URL: <https://www.vantagemarketresearch.com/industry-report/digital-oilfield-market-1969>. (дата звернення 26.04.2023).
8. Al-Hamer M., Kumar H. Leveraging the digital oilfield to transform operations. URL: <https://www.landmark.solutions/About-Us/News/Leveraging-the-digital-oilfield-to-transform-operations>. (дата звернення 26.04.2023).

9. Wanasinghe T., Wroblewski L., Petersen B., Gosine R., James L., De Silva O., Mann G.K.I., Warriian P. Digital Twin for the Oil and Gas Industry: Overview, Research Trends, Opportunities, and Challenges. *IEEE Access*. 2020. Vol. 8. pp. 104175-104197. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2998723. (дата звернення 26.04.2023).
10. Thomas E. C. Tutorial: Preparing Your Digital Well Logs for Computer-Based Interpretation. *Petrophysics*. 2017. № 58 (06). pp. 559-563.
11. Mohmad N., Mandal D., Amat H., Sabzabadi A., Masoudi R. History Matching of Production Performance for Highly Faulted, Multi Layered, Clastic Oil Reservoirs using Artificial Intelligence and Data Analytics: A Novel Approach. *SPE Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition, Nov 12, 2020*. DOI:10.2118/202460-MS. (дата звернення 27.04.2023).
12. Sircar A., Yadav K., Rayavarapu K., Bist N., Oza H. Application of machine learning and artificial intelligence in oil and gas industry. *Petroleum Research*. Volume 6, Issue 4, December 2021. pp. 379-391. DOI: 10.1016/j.ptlrs.2021.05.009. (дата звернення 27.04.2023).
13. Xinping L., Qingbin X., Mingyu H., Quanyou L., Morozov V. Reservoir Characteristics and Its Comprehensive Evaluation of Gray Relational Analysis on the Western Sulige Gas Field, Ordos Basin, China. *Geofluids*. 2021. DOI: 10.1155/2021/6641609. (дата звернення 27.04.2023).
14. Chen B., Pawar R. J. Characterization of CO<sub>2</sub> storage and enhanced oil recovery in residual oil zones. *Energy*. Volume 183, 15 September 2019, pp. 291-304. DOI: 10.1016/j.energy.2019.06.142. (дата звернення 28.04.2023).
15. Shelley R. F. Artificial Neural Networks Identify Restimulation Candidates in the Red Oak Field. *SPE Mid-Continent Operations Symposium, Oklahoma City, Oklahoma, March 1999*. DOI: 10.2118/52190-MS. (дата звернення 28.04.2023).
16. Lechner J. P., Zangl G. Treating Uncertainties in Reservoir Performance Prediction with Neural Networks. *SPE Europe/EAGE Annual Conference, Madrid, Spain, June 2005*. DOI: 10.2118/94357-MS. (дата звернення 28.04.2023).
17. Орловський В. М., Білецький В. С., Сіренко В. І. Нафтогазовилучення з важкодоступних і виснажених пластів. Харків: Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, НТУ «Харківський політехнічний інститут», ТОВ НТП «Бурова техніка», Львів, Видавництво «Новий Світ – 2000», 2023. 312 с.

### References

1. Metz C. (2016). How Google's AI Viewed the Move No Human Could Understand, *Wired*, March 14. wired.com. Retrieved from <https://www.wired.com/2016/03/googles-ai-viewed-move-no-human-understand/>.
2. Taylor W. (2012). Chevron's Digital Oilfields Solutions and Base Business Processes Maximize Value at McElroy Field, West Texas. DOI: 10.2118/149668-MS.
3. Feng Yumin, Zhang Hui, Xie Wenman, et al. (2012). Smart oilfield is the future of oilfield development. *Information system Engineering*, 6, 101-103.
4. Havaluddin H., Alfred R. (2015). A genetic-based backpropagation neural network for forecasting in time-series data. 2015 Proceedings from: International Conference on Science in Information Technology (ICSITech), 158-163. DOI: 10.1109/ICSITech.2015.7407796.
5. Oliveira D., Reynolds A. (2013). An Adaptive Hierarchical Algorithm for Estimation of Optimal Well Controls. Proceedings from: SPE Reservoir Simulation Symposium, 18-20 February 2013, The Woodlands, Texas. USA. DOI: 10.2118/163645-MS.
6. Temizel C., Canbaz C. H., Palabiyik Y., Putra D., Asena A., Ranjith R., Kittiphong J. A. (2019). Comprehensive Review of Smart/Intelligent Oilfield Technologies and Applications in the Oil and Gas Industry. Proceedings from: SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference, Manama, Bahrain, March 2019. DOI: 10.2118/195095-MS.

7. Digital Oilfield Market - Global Industry Assessment & Forecast. (2023). [vantagemarketresearch.com](https://www.vantagemarketresearch.com). Retrieved from <https://www.vantagemarketresearch.com/industry-report/digital-oilfield-market-1969>.
8. Al-Hamer M., Kumar H. (n.d.) Leveraging the digital oilfield to transform operations. [landmark.solutions](https://www.landmark.solutions). Retrieved from <https://www.landmark.solutions/About-Us/News/Leveraging-the-digital-oilfield-to-transform-operations>.
9. Wanasinghe T., Wroblewski L., Petersen B., Gosine R., James L., De Silva O., Mann G.K.I., Warriar P. (2020). Digital Twin for the Oil and Gas Industry: Overview, Research Trends, Opportunities, and Challenges. *IEEE Access*, 8, 104175-104197. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2998723.
10. Thomas E. C. (2017). Tutorial: Preparing Your Digital Well Logs for Computer-Based Interpretation. *Petrophysics*, 58 (06), 559-563.
11. Mohmad N., Mandal D., Amat H., Sabzabadi A., Masoudi R. (2020). History Matching of Production Performance for Highly Faulted, Multi Layered, Clastic Oil Reservoirs using Artificial Intelligence and Data Analytics: A Novel Approach. Proceedings from: SPE Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition, Nov 12, 2020. DOI:10.2118/202460-MS.
12. Sircar A., Yadav K., Rayavarapu K., Bist N., Oza H. (2021). Application of machine learning and artificial intelligence in oil and gas industry. *Petroleum Research*, 6, 4, 379-391. DOI: 10.1016/j.ptlrs.2021.05.009.
13. Xinping L., Qingbin X., Mingyu H., Quanyou L., Morozov V. (2021). Reservoir Characteristics and Its Comprehensive Evaluation of Gray Relational Analysis on the Western Sulige Gas Field, Ordos Basin, China. *Geofluids*. DOI: 10.1155/2021/6641609.
14. Chen B., Pawar R. J. (2019). Characterization of CO<sub>2</sub> storage and enhanced oil recovery in residual oil zones. *Energy*, 183, 291-304. DOI: 10.1016/j.energy.2019.06.142.
15. Shelley R. F. (1999). Artificial Neural Networks Identify Restimulation Candidates in the Red Oak Field. Proceedings from: SPE Mid-Continent Operations Symposium, Oklahoma City, Oklahoma, March 1999. DOI: 10.2118/52190-MS.
16. Lechner J. P., Zangl G. (2005). Treating Uncertainties in Reservoir Performance Prediction with Neural Networks. Proceedings from: SPE Europec/EAGE Annual Conference, Madrid, Spain, June 2005. DOI: 10.2118/94357-MS.
17. Orlovskiy V. M., Biletskyi V. S., Sirenko V. I. (2023). Naftohazovyluchennia z vazhkodostupnykh i vysnazhenykh plastiv [Oil and gas extraction from hard-to-reach and depleted reservoirs]. Kharkiv: Kharkivskiy natsionalnyi universytet miskoho hospodarstva imeni O. M. Beketova, NTU «Kharkivskiy politekhnichnyi instytut», TOV NTP «Burova tekhnika», Lviv, Vydavnytstvo «Novyi Svit – 2000». [In Ukrainian].