

ВІДГУК

на дисертаційну роботу **Носкова Олексія Вікторовича**
на тему **«Технологія збільшення розрізненої здатності мігрованих
сейсмічних даних на основі використання нейронних мереж»**,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань
12 — Інформаційні технології за спеціальністю 122 — Комп'ютерні науки

Актуальність теми дисертації

У сучасних умовах стрімкого розвитку машинного навчання та глибокого навчання на базі нейронних мереж особливого значення набуває їх застосування для вирішення складних прикладних задач у галузях, які мають великі об'єми даних, якість яких здебільшого потребує покращення. Одна з таких галузей – геологічна розвідка, і має критичне значення для енергетичної незалежності України. Збір та міграція польових сейсмічних даних, які на сьогоднішній день є складовим невід'ємним елементом геологічної розвідки, залишається надзвичайно ресурсномістким і складним завданням у зв'язку із технічними та фізичними обмеженнями, які притаманні як процесу збору, так і обробці отриманого польового матеріалу. Застосування традиційних алгоритмів обробки польових даних у вищепойменованих умовах призводить до формування бази геофізичних матеріалів, що містять певні обмеження, притаманні тим чи іншим графам обробки, що були застосовані при їх формуванні.

У зв'язку з такими обставинами застосування технологій машинного навчання для розробки методів покращення якості сейсмічних даних – своєчасний і перспективний напрям, який має потенціал значного зменшення завантаженості фахівців, підвищення точності геологічних побудов на базі проведених інтерпретаційних робіт, зменшення ризиків при закладанні свердловин та сприяння економічно ефективній розвідці вуглеводневого потенціалу України.

Для процесів пост-обробки мігрованих матеріалів сейсмічної зйомки, додаткову актуальність цьому напрямку надає поява публічних синтетичних наборів даних, які відкривають можливості для навчання моделей навіть за умов нестачі якісного польового матеріалу. Таким чином, дослідження

методів покращення якості сейсмічних даних на основі використання нейронних мереж не лише відповідає викликам сучасної геологорозвідки, але й інтегрує досягнення новітніх цифрових технологій для підвищення ефективності роботи нафтогазової галузі України.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1) вперше створено 3D модель нейронної мережі для ефективної обробки реальних сейсмічних даних, що відповідають геолого-геофізичним умовам Дніпровсько-Донецького басейну на базі архітектури 3D U-net із трансформацією синтетичного набору 2D даних у псевдо 3D куби;

2) вперше розроблено та реалізовано оптимізацію роботи функції втрат та метрик шляхом ітеративного підбору і аналізу впливу гіперпараметрів, що використовується для тренування конволюційної нейронної мережі з метою підвищення просторової розрізної здатності мігрованих матеріалів польової сейсмічної зйомки;

3) вперше розроблено та впроваджено алгоритм аналізу методом вікна зі згладження екстремальних значень мігрованих сейсмічних даних за функцією активації сігмоїди із подальшим відтворенням близького до первинного інтервалу при зворотній трансформації.

Результати роботи є достовірними, оскільки вони отримані та перевірені за допомогою математичного аналізу та обробки статистичних даних, частина результатів отримана в процесі комп'ютерних експериментів та під час практичної апробації створених алгоритмів та розробленого програмного продукту в середовищі програмування Python.

Достовірність основних положень та результатів дисертації доведено:

- результатом буріння пошукових свердловин, які були закладено з участю сейсмічних матеріалів опрацьованих за допомогою моделі конволюційної нейронної мережі, представленої в роботі;

- використанням апробованих методів математичного аналізу та обробки статистичних даних;

- відповідністю експериментальних досліджень статистичним результатам, отриманим з перевірених джерел;

- використанням сертифікованих комп'ютерних програм та інтегрованих середовищ розробки.

Наукові дослідження були виконані здобувачем в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАНУ (ІТГІП НАНУ) у відділі “Досліджень навколишнього середовища” під керівництвом доктора фізико-математичних наук, старшого наукового співробітника Миронцова Микити Леонідовича

У дисертаційній роботі повністю виконано *наукове завдання*, спрямоване на підбір оптимальної архітектури нейронної мережі та підбір функцій втрат та їх комбінування для навчання та перевірки моделі штучного інтелекту щодо підвищення розрізненої здатності мігрованих сейсмічних даних.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Носкова О.В. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 122 Комп'ютерні науки та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Інформаційні технології.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям технічних наук.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Носкова Олексія Вікторовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Робота відзначається послідовністю викладу та чіткою структурою. Матеріал подано з дотриманням норм наукового стилю. Автор коректно оперує термінами, аргументовано подає результати й демонструє вміння узагальнювати та формулювати висновки.

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та одного додатку. Загальний обсяг дисертації – 155 сторінок.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми, розглянуто зв'язок роботи з науковими темами та актуальним напрямком наукових досліджень, сформульовані мета та задачі дослідження, розкрито наукову новизну та практичну цінність.

У *першому розділі* роботи розглянуто еволюцію геофізичних досліджень, що проводилися в межах головного нафтогазоносного басейну України – Дніпровсько-Донецької западини. Наведено опис основних методик міграційної обробки польового сейсмічного матеріалу, що застосовуються в сучасній геології.

Окрему увагу приділено розвитку машинного навчання як самостійного напрямку роботи з даними, а також висвітлено сучасні тенденції розвитку алгоритмів нейронних мереж, що стрімко розвиваються.

У зв'язку зі зростаючим інтересом до застосування нейронних мереж у сфері обробки сейсмічних даних, наведено приклади їх успішного використання у геологорозвідувальному процесі, зокрема для задач покращення якості результатів міграції польових сейсмічних матеріалів для сейсмічних 3D-кубів та 2D-профілів.

У *другому розділі* роботи проаналізовано сучасні тенденції у веденні процесу геологічного моделювання, зокрема розглянуто сіквенс-стратиграфічний підхід до побудови моделей родовищ з використанням свердловинних і сейсморозвідувальних даних. Проведено оцінку якості наявних сейсмічних матеріалів та встановлено їх недостатню розрізнену здатність для створення сіквенс-стратиграфічних моделей площ дослідження, що обумовило потребу в створенні додаткового кроку їх пост-обробки.

Виконано огляд існуючих програмних рішень для проведення геофізичної інтерпретації сейсмічних даних і обґрунтовано вибір архітектури нейронної мережі для вирішення задачі підвищення якості мігрованих сейсмічних матеріалів. Описано процес побудови моделі штучного інтелекту для роботи з 2D наборами даних з поясненням вибору функцій активації, функцій втрат та особливостей застосування прогнозної моделі до польових даних, розмір яких заздалегідь невідомий. Наведено методику трансформації

даних між форматами *.SEGYY та *.NUMPY для забезпечення подальшої інтерпретації результатів.

У *третьому розділі* роботи розглянуто адаптацію створеної моделі для 2D-даних до тривимірних мігрованих сейсмічних кубів, зокрема проблему відсутності просторового контексту для двох паралельних розрізів. Обґрунтовано необхідність використання варіації архітектури U-Net для створення моделі, придатної до обробки 3D-даних. Описано модифікації, що було застосовано до моделі та наборів даних, а саме: алгоритм трансформації 2D-зображень у псевдо-3D-матриці, алгоритм афінних перетворень для подолання горизонтальної шаруватості прогнозу моделі, алгоритм моделювання артефактів сейсмічних даних для покращення прогнозу.

Розраховано необхідні апаратні потужності для обробки нейронною мережею збільшених обсягів даних для 3D-формату даних, наведено приклади оптимізації параметрів прогнозу та обґрунтовано необхідність використання комерційних дата-центрів для високонавантажених розрахунків. Описано результати прогнозу моделі з відновленням і без відновлення оригінального діапазону значень, а також додаткові геологічні дані, що можуть бути отримані в процесі моделювання.

У *четвертому розділі* роботи розглянуто рівні масштабування в геологорозвідувальних роботах, а також наголошено на важливості якісної прив'язки між сейсмічними та каротажними даними. Виокремлено основні проблеми, що виникають при роботі з індукційним каротажом, зокрема необхідність усунення впливу показників сусідніх пластів для покращення вертикальної розрізненості та визначення питомого радіального опору для коректної оцінки літології та насиченості пласта. Для кожної з цих проблем запропоновано рішення у вигляді простої нейронної мережі, яка обробляє каротажні дані.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 13 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 3 статті у наукових виданнях, включених на дату

опублікування до переліку наукових фахових видань України; 3 статті у періодичному науковому виданні, проіндексованому у базі даних Scopus.

Серед публікацій, які додатково відображають наукові результати дисертації, є 7 надрукованих доповідей у матеріалах вітчизняних та міжнародних наукових та науково-практичних конференцій.

Результати дисертації були апробовані на 4 наукових фахових конференціях.

Всі публікації здобувача виконані на належному науковому рівні, що доведено незалежним рецензуванням в процесі подачі матеріалів до друку, з дотриманням правил академічної доброчесності та мають особистий внесок здобувача у вигляді розроблених математичних моделей та обчислювальних алгоритмів, виконаних математичних розрахунків та експериментальних досліджень за темою дисертації.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

Дисертаційна робота має наступні недоліки та зауваження:

1) Автору варто детальніше пояснити переваги використання активаційної функції тангенс перед сигмоїдом – чим його подібність до структури даних сейсмічного матеріалу покращує роботоспроможність програми?

2) Класична архітектура мережі U-net має 4 шари. Автору варто було б пояснити чим був аргументований вибір трьох шарів для 3D Unet?

3) В роботі недостатньо висвітлено питання існуючих апаратних обмежень можливостей обробки сейсмічних матеріалів – описано про проведені заходи з економії ресурсів VRAM, проте не зрозуміло, яким чином обмежений окремо прорахунок прогнозу моделі і застосування моделі до мігрованих сейсмічних кубів різного об'єму.

4) Автору варто було б описати практичний алгоритм введення його програми в геологорозвідувальний процес і описати вимоги і обмеження, пов'язані із цим процесом.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Заключна оцінка дисертаційної роботи. Наукове дослідження, представлене Носковим Олексієм Вікторовичем у вигляді дисертації на тему «Технологія збільшення розрізненої здатності мігрованих сейсмічних даних на основі використання нейронних мереж», яке було виконане в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України, є цілісним та завершеним. Робота успішно вирішує поставлені в ній наукові завдання. За своєю актуальністю, науковою новизною отриманих результатів, їхнім теоретичним та практичним значенням, а також рівнем методичного забезпечення, дисертація повністю відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (із змінами)), а її автор заслуговує присвоєння ступеня доктора філософії з галузі знань 12 — Інформаційні технології за спеціальністю 122 — Комп'ютерні науки.

Офіційний опонент:

Професор кафедри математичних
методів системного аналізу
Навчально-наукового Інституту
прикладного системного аналізу
Національного технічного університету
України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»,
доктор технічних наук, доцент

Надія НЕДАШКІВСЬКА



«28» травня 2025 року