

ВІДГУК

**доктора фізико-математичних наук, головного наукового співробітника
Інституту механіки ім. С. П. Тимошенка НАН України
МАСЛОВА Бориса Петровича на дисертаційну роботу
ЗАХАРЧУК Оксани Олегівни на тему:
«Моделювання фільтраційних процесів у неоднорідних нафтогазоносних
пластах», яка подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії з
галузі знань 18 «Виробництво та технології» за спеціальністю
185 «Нафтогазова інженерія та технології»**

Відгук підготовлено на основі вивчення рукопису дисертаційного дослідження та наукових праць здобувача.

1. Актуальність теми дослідження

У сфері нафтогазової інженерії та технологій існує багато практичних задач, пов'язаних з рухом нафти і газу в пористому середовищі, зокрема: визначення процесів фільтрації нафти і газу при різних діях на пласт в околі свердловин; загальний вибір системи розробки виснаженого пласта; підтримання оптимальних об'ємів видобутку нафти і газу в слабопроникних виснажених пластах; визначення остаточних запасів в насичених флюїдом пластах; поступовий аналіз і зменшення ступеню ризиків розробки родовища у складних умовах видобутку. Тому моделювання фільтрації нафти і газу навколо експлуатаційних свердловин є одним із основних інструментів при проектуванні розробки родовища та управлінням видобувним процесом.

Методи комп'ютерного моделювання дозволяють оцінювати та враховувати невизначеності, що виникають внаслідок недостатньої інформації про будову і властивості пласта за межами свердловин. Ця інформація може бути отримана порівняно дешевим способом і використана для ефективного аналізу, контролю та керуванню нафтогазовидобувним процесом в анізотропних пластах. З іншого боку, залишається ряд питань, які пов'язані з точністю та адекватністю моделювання складних неоднорідних анізотропних нафтогазоносних колекторських систем в умовах реальної експлуатації родовищ. Використаний у роботі дисертантки комбінований скінчено-елементно-різницеви метод (СЕРМ) розв'язання нестационарної анізотропної задачі п'єзопровідності, з урахуванням

неоднорідного розподілу різних фільтраційних параметрів всередині анізотропного деформованого продуктивного пласта і на його межах, дозволяє адекватно розрахувати розподіл пластового тиску в складних умовах експлуатації нафтогазовидобувних свердловин.

Результати моделювання фільтраційних процесів за допомогою комбінованого СЕРМ методу можуть бути використані для розв'язку багатьох актуальних задач у сфері нафтогазової інженерії та технологій. Наприклад, удосконалення розрахунку видобувних запасів родовища, підбір розташування експлуатаційних свердловин в анізотропних пластах для збільшення інтенсивності фільтраційних процесів, удосконалення розрахунку радіуса контуру живлення свердловини. Таким чином, комбінований СЕРМ метод розв'язання нестационарної анізотропної задачі п'єзопровідності має широкі перспективи впровадження, зокрема, при складанні проектів розробки родовищ та дослідно-промисловій експлуатації свердловин.

2. Структура та обсяг дисертації

Дисертація обсягом 225 сторінок складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Обсяг основного тексту складає 146 сторінок, робота містить 67 рисунків та 32 таблиці. Список використаних джерел містить 141 найменування.

3. Оцінка змісту та завершеності дисертації

Дисертаційна робота присвячена моделюванню розподілу тиску навколо видобувних свердловин у неоднорідних пластах та розрахунку видобувних запасів пласта шляхом розв'язку рівняння п'єзопровідності комбінованим скінчено-елементно-різницею методом.

У вступі автором обґрунтовано вибір теми дисертації, сформульовано мету та основні задачі дослідження, визначено його об'єкт, предмет, методи, наведено положення наукової новизни та практичне значення отриманих результатів, а також дані щодо їх апробації та впровадження.

У розділі 1 проаналізований сучасний стан моделювання фільтраційних процесів навколо експлуатаційних свердловин, наведені переваги та недоліки існуючих аналітичних та чисельних методів розв'язку рівняння п'єзопровідності в неоднорідних пластах нафтогазових родовищ, сформовані задачі дослідження та представлена структурна схема дисертаційної роботи.

У розділі 2 сформульована загальна постановка нестационарної задачі п'єзопровідності з урахуванням початкової умови та умови проникності флюїду (нафти або газу) на границі досліджуваної області для розрахунку поля тиску в анізотропному середовищі. Вперше для розв'язку рівняння п'єзопровідності для

дослідження фільтраційних процесів нафтової та газової фази в неоднорідних пластах модифіковано комбінований скінчено-елементно-різницевий метод.

У розділі 3 на основі результатів моделювання проведено оцінку впливу наявності проникних границь пласта на розподіл пластового тиску та його зміну в часі. Оцінено взаємозв'язок між розподілом пластового тиску навколо нафтовидобувної свердловини та неоднорідним розподілом фільтраційних характеристик (проникності та в'язкості нафти). Приведено результати розв'язання нестационарної ізотропної задачі п'єзопровідності Лейбензона, на основі чого проведено оцінку процесу заповнення газової шапки геосолітонового родовища.

У розділі 4 розроблено модель однофазної фільтрації (нафти або газу) в анізотропних пластах навколо видобувної свердловини; між видобувною та нагнітальною свердловинами; навколо горизонтальної свердловини. Оцінено вплив неоднорідного розподілу проникності (зонально-неоднорідного та анізотропного) на розподіл пластових тисків для кожної розробленої моделі.

У розділі 5 запропонований удосконалений метод розрахунку запасів вуглеводнів, що поєднує об'ємний метод та результати моделювання фільтраційних процесів із застосуванням комбінованого СЕРМ методу. Авторський метод розрахунку запасів використаний ТОВ «Нафтогазопромислова геологія» при складанні нового проєкту розробки Західно-Радченківського газоконденсатного родовища (довідка про впровадження від 20 березня 2022 року).

Завершується робота загальними висновками, які є логічними, та слугують віддзеркаленням основних результатів дисертаційного дослідження.

У додатках представлено алгоритм програми розв'язку нестационарної ізотропної задачі п'єзопровідності для нафтової та газової фази, табличні дані для розрахунку коефіцієнта надстисливості газу, вихідні дані для моделювання розподілу тиску в пластах Ромашівського нафтового та Червонозаярського газового родовищ.

4. Ступінь новизни основних результатів дисертації у порівнянні з відомими дослідженнями аналогічного характеру

Основні положення новизни, які дали можливість автору вирішити поставлені у роботі мету і задачі, розкриваються у наступних наукових результатах.

Вперше для розв'язку рівняння п'єзопровідності для дослідження фільтраційних процесів нафтової та газової фази в неоднорідних пластах модифіковано комбінований СЕРМ метод, що дозволив отримати якісно нову інформацію про вплив неоднорідного розподілу фільтраційних параметрів

(проникності та в'язкості) у неоднорідному нафтовому та газовому середовищі на розподіл пластових тисків навколо видобувних та нагнітальних свердловин. Удосконалено спосіб розрахунку радіуса контуру живлення видобувної свердловини на основі результатів моделювання розподілу пластових тисків. Удосконалено метод підрахунку початкових видобувних запасів продуктивних нафтогазоносних пластів, розкритих однією експлуатаційною свердловиною.

Всі елементи наукової новизни сформульовані коректно, їх кількість та рівень обґрунтованості відповідають нормативним вимогам до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

5. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та висновків

Обґрунтованість і достовірність основних наукових положень дисертації, одержаних результатів і висновків підтверджується використанням теоретичних методів дослідження, що містять в собі системний аналіз використаної інформації; чисельного моделювання на основі комбінованого скінчено-елементно-різницевого методу в сукупності з іншими чисельними та аналітичними методами; методів візуального подання отриманої інформації; методів статистичної обробки даних; експериментальних методів дослідження, які полягають у верифікації отриманих результатів.

Достовірність одержаних результатів розв'язку задачі п'єзопровідності для нафтової та газової фази комбінованим скінчено-елементно-різницевим методом забезпечується коректністю математичних моделей і варіаційних формулювань задач п'єзопровідності, строгістю реалізації скінчено-елементного підходу, контролем точності задоволення граничних умовам, використанням критеріїв збіжності чисельних результатів на основі згущення скінчено-елементної сітки та верифікацією тестових прикладів варіаційної скінчено-елементної методики.

Достовірність одержаних результатів підрахунку початкових видобувних запасів продуктивних нафтогазоносних пластів підтверджується експериментальними методами дослідження, які полягають у перевірці відповідності розрахованих авторською методикою запасів із значеннями, наведеними в Атласі родовищ України.

6. Повнота викладу матеріалів дисертації у наукових публікаціях

Дисертаційна робота Захарчук О. О. є результатом наукових досліджень авторки в області моделювання фільтраційних процесів у неоднорідних нафтогазоносних пластах. За матеріалами дисертації опубліковано 16 наукових праць, у тому числі 9 статей у наукових фахових виданнях (з них 1 стаття у фаховому виданні України категорії "А", 4 статті у фахових виданнях за

спеціальністю 185 – Нафтогазова інженерія та технології), 7 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій (з них 5 входять до Scopus).

Основні наукові положення та висновки, наведені в дисертації, пройшли апробацію на 8 міжнародних науково-практичних конференціях.

Загальний обсяг публікацій у наукових фахових виданнях за спеціальністю 185 – Нафтогазова інженерія та технології становить 3 друк. арк., що дорівнює необхідному мінімуму. Опубліковані наукові праці Захарчук О. О., які зараховані за темою дисертації, відповідають вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року.

7. Наукове та практичне значення виконаного дослідження та сфера його застосування

Отримані результати мають широкий спектр використання у галузі нафтогазової інженерії та технологій, зокрема, при складанні проєктів розробки родовищ та дослідно-промислової експлуатації свердловин. Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що вони дозволяють нафтогазопромисловим організаціям удосконалити розрахунок невідомих параметрів (значення тисків по площі родовища, радіуса контуру живлення свердловини, видобувних запасів пласта) для побудови оптимальної стратегії та тактики розробки родовища. Удосконалений спосіб розрахунку видобувних запасів газового пласта використаний ТОВ «Нафтогазопромислова геологія» при складанні нового проєкту розробки Західно-Радченківського газоконденсатного родовища (довідка про впровадження результатів від 20.03.2022).

Окремі теоретичні положення дослідження використано у освітньому процесі у Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» при викладанні дисципліни «Математичне моделювання фільтраційних процесів у пористому середовищі» в навчальному курсі третього освітнього рівня, ОНП 185 «Нафтогазова інженерія та технології» (акт про впровадження результатів від 10.10.2021).

8. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

За результатами перевірки дисертаційної роботи Захарчук О. О. на наявність ознак академічного плагіату встановлено коректність посилань на першоджерела для текстових та ілюстрованих запозичень. Навмисних спотворень не виявлено. Таким чином можна зробити висновок про відсутність порушень академічної доброчесності.

9. Висновок про відповідність дисертації вимогам МОН України

Дисертаційна робота Захарчук Оксани Олегівни на тему «Моделювання фільтраційних процесів у неоднорідних нафтогазоносних пластах» виконана на актуальну тему. За своїм змістом дисертація є завершеною самостійною виконаною кваліфікаційною науковою працею, яка містить нові теоретичні положення та науково-обґрунтовані експериментальні результати, що мають важливе наукове та практичне значення.

Дисертація за вимогами щодо структури, змісту, загального обсягу та кількості наукових публікацій, що висуваються до здобувача наукового ступеня доктора філософії, відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України до кваліфікаційних наукових праць, а саме наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (з наступними змінами) та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 р.

10. Зауваження до дисертаційної роботи

Відзначаючи загалом достатній науковий рівень дисертаційної роботи О.О. Захарчук, слід відзначити деякі певні зауваження.

1. Вихідні дані для моделювання розподілу тиску у всіх задачах наведено в системі одиниць СІ (табл. 3.1–3.3, табл. 4.1, 4.3–4.6). При цьому, результати моделювання розподілу тиску наведено в атмосферах (наприклад, рис. 3.2–3.12, рис. 4.1–4.4, 4.6–4.24). В межах кожної задачі варто оперувати однією системою виміру одиниць.

2. Не зрозуміло, де можна ознайомитися з програмою, використаною дисертанткою для моделювання фільтраційних процесів. Чи є методичні вказівки для роботи з цією програмою? Які системні вимоги та обмеження при використанні програми?

3. При моделюванні процесу заповнення газової шапки геосолітонового родовища (розділ 3, ст. 80–84) варто навести короткий опис геосолітової концепції утворення вуглеводнів у зв'язку з її низькою популярністю: що таке «геосолітон», механізм руху вуглеводнів по геосолітонових трубках і т.п.

4. Доцільно було прив'язати розрахунок задач в розділах 3 та 4 до реальних геологічних умов конкретних родовищ. Інакше – це теоретичні напрацювання без можливості практичного впровадження.

Разом з тим, варто зазначити, що наведені зауваження до роботи не впливають суттєво на зміст роботи.

11. Загальний висновок

Дисертаційне дослідження О. О. Захарчук є самостійною, завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково-обґрунтовані результати математичного моделювання фільтраційних процесів у неоднорідних нафто- та газоносних пластах. Це свідчить про оволодіння здобувачкою методологією наукової діяльності та особистий внесок у розвиток науки в галузі нафтогазової інженерії та технологій.

Дисертація Захарчук Оксани Олегівни «Моделювання фільтраційних процесів у неоднорідних нафтогазонаосних пластах», що представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 185 – нафтогазова інженерія та технології відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (з наступними змінами) та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 р. та рекомендується для подання до розгляду та захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

Офіційний опонент

доктор фізико-математичних
наук, головний науковий
співробітник Інституту
механіки ім. С. П. Тимошенка
НАН України

Борис МАСЛОВ

Підпис Б. Маслова засвідчую
Завідувач відділом кадрів
Інституту механіки
ім. С. П. Тимошенка НАН
України

Наталія ДЕРЕВІНСЬКА

