67-72-46/1
05 05 2018

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу П.Г. Вавричука "**Математичне моделювання та чисельний аналіз двофазної фільтрації газу та рідини в пористому середовищі**", подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – "математичне моделювання та обчислювальні методи"

Актуальність теми дисертації.

Важливим елементом надійності роботи газотранспортних систем є підземні сховища газу (ПСГ), які створюються у виснажених газових родовищах. Тиск газу, який зберігався в ПСГ був не меншим ніж гідростатичний тиск шару води, наявної в ПСГ. При суттєвому недовантаженні підземного газового сховища (це характерне явище, що спостерігається в останні роки) частина ПСГ експлуатується при пластових тисках, нижчих за гідростатичні. Слід очікувати, що наявні в ПСГ пласти води будуть достатньо суттєво впливати на різні режими експлуатації ПСГ та роботи свердловини.

Для забезпечення якісної експлуатації ПСГ (максимального уникнення або зменшення впливу фактору наявності пластів води чи, можливо, в максимальній мірі врахування його впливу на режим експлуатації) на всіх етапах планування режимів та підготовки технологічних об'єктів, зокрема для забезпечення ефективної їх роботи, слід розв'язати важливу науково-технічну задачу – опис процесів руху газоводяного контакту (ГВК) до свердловини. Це вимагає побудови системних математичних моделей опису таких явищ та розробці швидкозбіжних методів та алгоритмів їх дослідження.

У зв'язку з цим, важливим завданням є розроблення системної моделі, яка описує у взаємозв'язку фільтраційні, дифузійні, конвективні та газодинамічні процеси під час експлуатації ПСГ. Розрахунки режимів та оптимізація роботи згаданих процесів як єдиної термогідравлічної системи є основними питаннями при її експлуатації та розвитку. Ці питання необхідно розв'язувати при формуванні технологічного режиму роботи системи, відпрацюванні рекомендацій з оперативного керування процесами відбору та

закачування газу, а також при корегуванні проектних режимів роботи в умовах реконструкції технологічного обладнання.

За своїм науковим спрямуванням дисертаційна робота відповідає програмам і планам наукових досліджень Центру математичного моделювання ІППММ ім. Я.С. Підстригача НАН України зокрема за темами:

"Нестаціонарні задачі фільтрації газу в неоднорідних пористих середовищах в газовому і водонапірному режимах із зосередженими джерелами і стоками" (держ. реєстр. № 0107U000356);

"Розробка та дослідження математичних моделей процесів деформування та переносу в неоднорідних середовищах з урахуванням локальної структури та зосереджених джерел і стоків" (I кв. 2012 –IV кв. 2016);

"Розроблення математичних моделей, методів та алгоритмів для прогнозування і оптимального керування режимами експлуатації підземних сховищ газу. Побудова методів та алгоритмів для прогнозування і оптимального керування процесами відбору-закачування газу в підземні сховища" (держ. реєстр. № 0107U005812);

"Розроблення підсистеми оперативного планування динамічних режимів роботи магістральних газопроводів для автоматизованого диспетчерського керування потоками газу в газотранспортній системі України" (держ. реєстр. № 0110U004141);

"Математичне моделювання нестаціонарної фільтрації газу в неоднорідних пористих середовищах з рухомими границями розділу газ-вода" Розділ 1 «Побудова математичної моделі та алгоритмів дослідження фільтрації газу та рідини в неоднорідних середовищах складної форми» до договору № 1 від 17 березня 2014 р. згідно з розпорядженням Президії НАН України від 05.03.2014, №142.

У рамках виконання цих науково-дослідних робіт здобувачем отримано всі результати, які становлять наукову новизну дисертаційного дослідження.

Зміст дисертації належним чином відображає мету роботи та основні поставлені завдання досліджень для досягнення цієї мети.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, забезпечується коректним застосуванням елементів теорії фільтрації, використанням апробованих підходів та методів математичної фізики, інтегральних та диференціальних рівнянь, математичного аналізу, чисельних методів, а також строгістю формулювання задач та їх математичного моделювання. Отримані теоретичні результати обґрунтовані та апробовані в обчислювальних експериментах на модельних задачах. Оцінки точності та збіжності запропонованих методів і алгоритмів обґрунтовані як теоретично, так і в процесі проведення числових експериментів.

Обґрунтованість наукових положень, результатів та висновків дисертації забезпечується також їх апробацією на наукових конференціях і семінарах, опублікуванням 9 наукових робіт, у тому числі: 5 статей, з них 4 статті у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у науковому періодичному виданні іншої держави, з яких 2 статті у наукових виданнях, що входять до наукометричних баз, 4 публікації в матеріалах міжнародних та всеукраїнських конференцій.

Наукова новизна одержаних в роботі результатів полягає в наступному:

- вперше розроблено системну модель руху газу в ПСГ, яка описує у взаємозв'язку фільтраційні, дифузійні, конвективні та газодинамічні процеси, що дало змогу вирішити ряд практичних задач, зокрема розробити підхід для оцінки кількості дифундованого газу у воду при роботі ПСГ;
- вперше побудовано математичну модель руху газу в ПСГ при наявності підошовної або контурної води та досліджено швидкість руху ГВК з метою недопущення заводнення свердловини;
- адаптовано існуючі чисельно-аналітичні ітераційні методи для уточнення рухомої межі поділу "газ-вода" та розроблено нові ітераційні

процедури розв'язування задач масопереносу та газової динаміки для знаходження параметрів (тиск на газозбірному пункті, дебіт свердловини, пластовий тиск та швидкість підняття ГВК) роботи ПСГ.

Важливість для науки одержаних автором дисертації результатів.

Дисертаційна робота стосується розробки та розвитку теорії математичного моделювання масопереносу в складних системах, зокрема підземних сховищ газу, з врахування параметрів та топологічної складності. Отримані результати знайдуть своє застосування в подальших дослідженнях з даного напрямку.

У роботі запропоновано чисельно-аналітичні моделі масопереносу та фільтрації газу у підземних сховищах, з метою їх ефективної експлуатації, а також методи їх дослідження. Отримані теоретичні результати дали змогу дослідити параметри (дебіт свердловини, тиск на газозбірному пункті, пластовий тиск та швидкість підняття газоводяного контакту), які впливають на роботу ПСГ за наявності водного фактору, та корегувати їх відповідно для покращення роботи ПСГ.

Практична цінність отриманих у роботі результатів підтверджена актами про їхнє використання на виробництві в ПАТ "УКРТРАНСГАЗ". Побудовані чисельно-аналітичні моделі заміщення газу водою в ПСГ дають змогу розраховувати параметри роботи системи "пласт – колектор – магістральний газопровід" з метою недопущення заводнення свердловин та планувати сумісну роботу об'єктів підземних сховищ газу та газотранспортної системи на етапах відбирання та нагнітання газу.

Автореферат адекватно відповідає змісту дисертації та оформлений згідно з вимогами МОН України. Результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані у 9 наукових працях.

Разом з тим слід зробити ряд зауважень до дисертаційної роботи та автореферату.

1. При побудові математичної моделі дисертант моделює роботу основних

технологічних об'єктів системи не досліджуючи взаємний вплив складових системи. Цей вплив враховується простим усередненням та використанням реальних (отриманих з експерименту) параметрів. Дослідження впливу таких спрощень на отримані результати на жаль не наведено.

2. Математична модель опису фільтрації газу в водяні пласти ПСГ є плоскою двовимірної моделлю, яка є досить ідеалізованою. Реально поверхня контакту «газ-вода» відмінна від плоскої. Врахування (чи хоча би груба оцінка) цієї відмінності не наведено в роботі.

3. Основною моделлю опису фільтрації газу в пласті підземного сховища є рівняння (2.9) (ст. 60), яке просто записано з посиланнями на першоджерела, однак не приведено аргументів щодо адекватності цієї моделі для розглядувального класу задач.

4. Як і в авторефераті, так і в дисертаційній роботі відзначається, що адаптація моделей здійснюється на основні розв'язання обернених задач. Яких і як впливають спрощення моделей на отримані результати в роботі не наведено. Це стосується методу врахування конвективної складової, поданому в розділі 3.

5. В роботі наявно ряд описок, зокрема: ст. 53 «*A* – коефіцієнт, залежний від виду місцевого опору», а введено лише поняття місцевого опору ξ, без конкретизації його виду; «*n* – показник політропа» (ст. 71), «сила ваги «газу» замість маси (ст. 74), в другому та третьому розділі – «газ» а в четвертому «метан»»; перенасичене вживання терміну «описується формулою», незрозумілі позначення в таблицях обчислювальних експериментів, тощо.

Однак, вказані вище зауваження суттєво не знижують загальної **позитивної оцінки** дисертації та її **високої якості в цілому**.

Висновок про відповідність дисертації вимогам МОН України.

Подана до захисту дисертація є оригінальним і завершеним науковим дослідженням, в якому розв'язано завдання науково-технічного характеру в галузі математичного моделювання та обчислювальних методів – аналітико-числове моделювання процесів взаємозаміщення газу водою з метою недопу-щення

заводнення свердловини та визначення наявної кількості газу у воді і відповідає паспорту спеціальності 01.05.02.

Результати роботи є новими та достатньо апробованими. Аналіз публікацій дисертанта показує, що основні результати дисертації отримано автором самостійно. Автореферат адекватно відображає зміст роботи.

За актуальністю теми, рівнем та обсягом виконаних досліджень, науковою новизною та практичним значенням отриманих результатів дисертаційна робота "Математичне моделювання та чисельний аналіз двофазної фільтрації газу та рідини в пористому середовищі" повністю відповідає встановленим вимогам щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (зокрема, п. 9, 11, 12 "Порядку присудження наукових ступенів") і рекомендувати її до захисту на спеціалізованій вченій раді Д 35.052.05 за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент,
доктор фізико-математичних наук, професор,
завідувач кафедри прикладної математики
НУ «Львівська політехніка» П.П.Костробій

Підпис П.П.Костробія
Затверджую
Вчений секретар Національного університету
«Львівська політехніка» Р.Б. Брилинський