

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Собко Валентини Григорівни на тему: **"Числово-аналітичні моделі процесів масопереносу на базі біортогональних многочленів"**, подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Урахування зменшення видобутку енергоносіїв та зростання їх вартості викликає підвищену увагу до ощадливого і ефективного їх використання, в тому числі і під час транспортування і зберігання. Тому при вивченні процесів транспортування та зберігання газу необхідно адаптувати наявні математичні моделі. Вхідні виміряні дані, як правило, отримують у довільних дискретних точках з невисокою точністю. Такі масиви числової інформації підлягають обробці з метою видалення шуму, виявлення особливостей, пошуку закономірностей для побудови крайових умов, що доповнюють рівняння, якими описують вказані процеси. Перспективним способом побудови аналітичної залежності для крайових умов з урахуванням апріорної інформації є використання ортогональних та біортогональних розкладів.

Тому **актуальність дисертаційної роботи** Собко В.Г., присвяченої побудові аналітико-числових моделей масопереносу газу в складних газотранспортних системах та природних пористих середовищах з метою автоматизованого виявлення незворотних втрат газу у трубопроводах, оцінювання його кількості у підшовній воді, наявній в пластах, не викликає сумніву, оскільки їх використання у розрахункових схемах газотранспортних мереж має важливе практичне значення для підвищення ефективності роботи газотранспортних систем та підземних сховищ газу.

Підтвердженням актуальності теми дисертаційної роботи є і той факт, що вона виконана у межах планових науково-дослідних робіт Центру математичного моделювання ІППММ ім. Я. С. Підстригача та ПАТ "Укртрансгаз", в яких автор була виконавцем.

З аналізу тексту дисертації випливає, що сформульовані висновки достатньо обґрунтовані, оскільки при розробці алгоритмів розв'язування сформульованих задач були коректно використані метод розділення змінних у побудованих авторкою базисах біортогональних та квазіспектральних поліномів, методи асимптотичних розкладів, функціонального аналізу, математичного аналізу для перевірки адекватності моделі. Аналіз об'єкту дослідження, математичних моделей процесів руху газу та особливостей їх застосування у реальних задачах став вагомою передумовою розробки нових модифікацій цих моделей та удосконалення методів побудови розв'язку розглянутих задач. Слід зазначити,

що авторка за допомогою запропонованих підходів та змін моделі, які і визначають основну новизну роботи, повністю досягла поставленої мети. Окрім того, тестування розроблених алгоритмів і порівняння отриманих числових результатів з реально вимірними даними дозволило оцінити адекватність запропонованої моделі.

Зупинимось на основних, на наш погляд, отриманих у дисертації результатах, які визначають її **наукову новизну** та значимість.

У *другому розділі* сформульовано вимоги, які враховували б керування процесом транспортування газу, зокрема, незворотні втрати вздовж траси, дифузію та розчинність у воді, наявність опосередкованих вхідних даних та їх невисоку точність. Здійснено моделювання процесу руху газу в трубопроводі та розподілу тиску дифундованого і розчиненого у воді газу. Наведено загальну схему розв'язування отриманих крайових задач у базисі біортогональних многочленів. Розроблено наближено-аналітичні та наближені підходи до розв'язування лінеаризованих задач. За допомогою першого підходу після розділення змінних отримано розв'язок, аналітичний за часом та наближений за просторовою координатою, а у другому підході для опису залежності від часу використано многочлени Лагерра.

Третій розділ присвячено побудові та дослідженню властивостей квазіспектральних та біортогональних функцій, які дають можливість для сформульованих задач підвищити точність, ефективність та автоматизацію одержаних розв'язків. Подано поліноми Чебишева та їх похідні через біортогональні функції. Знайдено рекурентну формулу для коефіцієнтів розкладу многочленів Чебишева в ряд за біортогональними та квазіортогональними функціями, а також параметри нев'язки.

В *останньому розділі* апробовано побудовані в роботі біортогональні поліноми на модельній задачі типу теплопровідності, для знаходження розподілу тиску в трубопроводі та у воді, наявній в пластах підземних сховищ газу. Розв'язки задач знайдено у вигляді суми ряду біортогональних та квазіортогональних поліномів. Вивчено вплив параметрів методів, зокрема, порядку часткової суми, розрядної сітки (машинної похибки) та похибки вхідних даних, на точність обчислення отриманих розв'язків.

Практична цінність отриманих у роботі результатів досліджень дали змогу покращити ефективність розрахункових схем газотранспортних мереж внаслідок зменшення часу їх числової реалізації, можливості виявлення незворотних втрат газу в процесі зберігання та транспортування газу.

Основні результати дисертації достатньо повно відображені в 13 опублікованих наукових роботах, з яких 6 статей у наукових фахових виданнях, з них дві внесено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus, 7 матеріалів міжнародних та всеукраїнських конференцій. Особистий внесок здобувача у

спільних публікаціях відображено в дисертації й авторефераті. Основні наукові результати, які викладені в спільних публікаціях, отримані дисертантом самостійно.

Матеріали дисертації пройшли достатню апробацію, вони доповідались авторкою на всеукраїнських і міжнародних наукових конференціях. Автореферат правильно і з достатньою повнотою відображає основний зміст дисертації. Дисертаційна робота та автореферат оформлені відповідно до вимог МОН України. Виклад матеріалу дисертації супроводжується всіма необхідними посиланнями в тексті роботи на першоджерела та запозичення з праць інших дослідників.

До дисертаційної роботи слід зробити такі *зауваження*:

1. Задекларовану мету роботи щодо побудови аналітико-числових моделей масопереносу газу в природних пористих середовищах з метою оцінки кількості газу, дифундованого у законтурні води, наявні в пластах підземних газових сховищ, не досягнуто в повному обсязі.
2. У першому розділі значну увагу приділено спектральному методу розв'язування задач математичної фізики, однак не зроблено огляду методів розв'язування задач газової динаміки.
3. Для моделювання процесів руху газу у трубопроводі використано два підходи: наближено-аналітичний та наближений, окрім того, в кожному з них є по два способи. Необгрунтовано необхідність такої кількості варіантів розв'язування отриманої задачі, їх розуміння ускладнене відсутністю висновків до наведених в таблицях 4.7-4.12 результатів, а також неможливістю побачити різницю між кривими на рис. 1 та 2. Аналогічне зауваження стосується моделі знаходження тиску у підшовній воді, оскільки висновки до наведених в таблицях 4.15-4.17 результатів теж відсутні, причому назви таблиць однакові, а тим самим значенням часу (наприклад, рівним 168 і 720) відповідають різні значення координати y . Зазначу, що у тексті автореферату зовсім не описано суті наближено-аналітичного та наближеного підходів, розроблених у дисертації.
4. Між системами рівнянь (1.1) та (2.1) дисертації (їм відповідають системи (1) та (3) автореферату), якими моделюється той самий процес руху газу у трубопроводі є розбіжність: глибина залягання труби h не залежить від часу у першому рівнянні, відсутній співмножник $1/c^2$ у другому рівнянні системи (1.1).
5. З тексту дисертації не цілком зрозуміло, які реальні технологічні об'єкти розглянуто та які параметри потоків газу знайдено, зокрема, яку мінімальну різницю при втраті тиску у трубопроводі та який мінімальний об'єм дифундованого і розчиненого у воді газу дозволяють визначити розроблені підходи. Неясно, чи отримані результати мають рекомендаційний характер, чи можуть бути використані в системах реального часу для роботи газотранспортних систем та підземних сховищ газу. Окрім того, у дисертації й

авторефераті повністю відсутній опис програмного забезпечення для адаптації розроблених підходів, натомість текст дисертації перевантажений поданням доведень допоміжних тверджень, рекурентних формул для коефіцієнтів розкладу многочленів Чебишева в ряд за побудованими функціями та іншими математичними викладками.

6. Авторка не уникла деяких стилістичних огріхів, зокрема, вживання повторів однакових слів у одному реченні, зосередження уваги на розв'язуванні задач, а не на побудові математичних моделей розглядуваних процесів, неконкретність висновків до розділів (зокрема, у четвертому, не вказано якого порядку поліноми Чебишева доцільно вибрати); трапляються повтори речень.

Вище наведені зауваження не ставлять під сумнів значимість головних положень роботи і не знижують загальної позитивної оцінки дисертації.

Висновок. Подана дисертаційна робота В.Г. Собко "Числово-аналітичні моделі процесів масопереносу на базі біортогональних многочленів" є оригінальною і завершеною науково-дослідною працею, в якій розв'язано важливе наукове завдання – розроблення адаптивних аналітико-числових математичних моделей руху газу в трубопроводах та природних пористих утвореннях, які відповідають практичним завданням керування поточкорозподілом газу, та методів знаходження розв'язків відповідних їм задач, орієнтованих на використання апріорної інформації.

За актуальністю теми, обсягом виконаних досліджень, новизною, теоретичною і практичною цінністю отриманих результатів дана дисертаційна робота повністю відповідає встановленим вимогам щодо кандидатських дисертацій, зокрема, п.11 «Порядку присудження наукових ступенів», відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 – «математичне моделювання та обчислювальні методи», а її авторка Собко Валентина Григорівна заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за цією спеціальністю.

Доктор технічних наук, старший науковий співробітник,
професор кафедри програмного забезпечення

Інституту комп'ютерних наук і інформаційних технологій

Національного університету «Львівська політехніка»

24 травня 2018 р.

 Л.М. Журавчак

Підпис Л.М. Журавчак засвідчую

Вчений секретар

Національного університету «Львівська політехніка»

кандидат технічних наук, доцент



Р.Б. Брилинський