

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Давидок Анастасії Євгенівни

**«Математичне моделювання дифузійних потоків у двофазних  
стохастично неоднорідних шаруватих структурах»,**

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні  
методи

Проведення оцінки функціональних характеристик шаруватих композиційних матеріалів, вивчення властивостей складних геологічних об'єктів, аналіз режимів ефективної роботи багатошарових фільтрів ґрунтуються на моделюванні процесів масоперенесення, що у них протікають. Фізичні характеристики (концентрація дифундуючих частинок, їх хімічний потенціал, дифузійний потік) багатофазних тіл з невідомою точною геометричною конфігурацією фаз, як правило, розглядають як певні реалізації хаотичних, а не стохастичних, полів у просторі та часі.

Тому дисертаційна робота, присвячена розробці моделей і засобів математичного моделювання дифузійних потоків у стохастичних шаруватих структурах за довільного ймовірнісного розподілу фаз та випадкових товщин підшарів, є **актуальною і практично важливою.**

Представлені в дисертаційній роботі результати є розвитком підходів і методів, розроблених у Центрі математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України, і виконані в рамках двох науково-дослідних тем Центру, що мають номери державної реєстрації. Зокрема, Давидок А.Є. побудувала нову математичну модель масоперенесення, розвинула підхід до побудови розв'язків крайових задач, розробила пакет програм для розрахунку усереднених потоків домішкових частинок, що мігрують у двофазних стохастично неоднорідних шаруватих тілах.

Дисертаційна робота відповідає п. 6 «Нові речовини і матеріали» Статті 3 Закону України «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки» зі змінами від 9 вересня 2010 року.

Відзначимо найбільш важливі на наш погляд результати роботи, які мають **наукову новизну.**

У **другому розділі** дисертаційної роботи Давидок А.Є. *вперше* розроблено підхід до математичного моделювання потоків домішкової речовини у випадково неоднорідних шаруватих тілах, що ґрунтується на розв'язуванні диференційного рівняння в часткових похідних із випадковими коефіцієнтами, в яких врахована неоднорідність структури тіла, для випадку, коли шуканою величиною є дифузійний



потік. При формулюванні крайових задач дифузії за початкових і граничних умов першого роду додатково визначають граничну умову на потік, розв'язуючи відповідну крайову задачу для концентрації дифундуючих частинок. Побудовано *нове* інтегро-диференціальне рівняння Вольтерра другого роду за часом і Гаммерштейна за просторовою координатою з випадковим ядром, еквівалентне вихідній крайовій задачі дифузії на потік маси, *вперше* сформульовано і доведено теорему існування її розв'язку. Методом послідовних наближень знайдено розв'язок цього рівняння у вигляді інтегрального ряду Неймана, встановлено умови його збіжності, оцінено суму його залишкових членів, що дозволяє виконувати процедури усереднення за ансамблем конфігурацій фаз із довільною наперед заданою функцією розподілу.

*Вперше* досліджено закономірності усереднених за ансамблем конфігурацій фаз потоків маси у двофазних багатошарових тілах за рівномірного розподілу фаз за нульової та ненульової сталої початкових концентрацій дифундуючої речовини.

У **третьому розділі** дисертації *вперше* отримано оцінку впливу третього доданка ряду Неймана, що описує парний взаємовплив шаруватих включень, на усереднений дифузійний потік у тілі з рівномірним розподілом фаз та структурі з включеннями, сконцентрованими біля верхньої поверхні тіла, де знаходиться джерело маси. В ньому також узагальнено результати попереднього розділу на випадки нерівномірного розподілу фаз, що описують різне зосередження неоднорідностей в тілі.

У **четвертому розділі** досліджено математичні моделі дифузії, які містять дві стохастичні величини – координати розташування неоднорідностей та їх розміри, і моделі, сформовані для дифузійних потоків, усереднених за випадковими товщинами включень. Проведено порівняння потоків маси, які усереднюються за випадковою товщиною на різних етапах моделювання – при формуванні математичної моделі і на останньому кроці дослідження. Встановлено умови, за яких етап, на якому проводиться усереднення за випадковою товщиною включень, є суттєвим. За результатами чисельного моделювання встановлено *нові* закономірності процесу дифузії домішкових частинок у тілі з рівномірним розподілом фаз у випадках, коли товщина прошарків є стохастичною величиною з рівномірним або трикутним розподілами на заданому проміжку.

**Зміст дисертації** у повній мірі відображає мету роботи та основні поставлені задачі для досягнення цієї мети.

**Достовірність одержаних результатів, обґрунтованість наукових положень та висновків, сформульованих у дисертації** забезпечується достатньо коректним формулюванням вихідних положень та використовуваних математичних і статистичних моделей досліджуваних об'єктів; строгістю та коректністю побудови математичних моделей на основі загальноновизнаних положень математичної фізики; застосуванням добре апробованого математичного апарату; несуперечністю



одержаних результатів у цілому. Обґрунтованість наукових положень, результатів та висновків дисертації забезпечується також апробацією результатів дослідження на 22 міжнародних та вітчизняних наукових конференціях і симпозіумах, 4 наукових семінарах в установах НАН та ВНЗ України, де робота доповідалась у повному обсязі. Основні результати, отримані у роботі, безпосередньо застосовані на практиці, що засвідчено актами про використання результатів дисертаційної роботи.

**Повнота викладу основних результатів у опублікованих матеріалах.** Результати дисертаційної роботи опубліковано у 34 наукових працях, що включають 12 статей, з яких 2 у наукових виданнях, що входять до наукометричних баз SCOPUS та Index Copernicus, 10 статей у наукових фахових виданнях з технічних наук; 22 – матеріали міжнародних і вітчизняних конференцій та симпозіуму. Без співавторів опубліковано 7 робіт. Аналіз опублікованих автором наукових праць показав, що в них достатньо повно викладено основні результати, отримані у дисертації. Кількість публікацій та їх рівень відповідають встановленим вимогам.

**Практична цінність отриманих у роботі результатів.** Отримані у дисертаційній роботі розрахункові формули стали основою для створення програмного комплексу, призначеного для комп'ютерного моделювання усереднених дифузійних потоків мігруючих частинок у двофазних випадково неоднорідних шаруватих тілах залежно від різних значень геометричних і фізичних характеристик середовища та проведення оцінки парного взаємовпливу шаруватих включень на усереднений потік маси. Програмний комплекс використано у ряді прикладних задач: розрахунку усереднених потоків атомів вуглецю та водню при їх міграції в шаруватій структурі  $\alpha Fe - Ni$ ; для визначення розподілів вуглецю та водню у композиції сталь 38ХНЗМФА-Ni; для проведення оцінки технологічного періоду продуктивного функціонування фільтра від швидкості потоків забруднюючих речовин, сумарного об'єму його відсіків та часових параметрів у цілому.

Результати використання розробленого підходу і створеного програмного комплексу підтверджено трьома актами про використання, які наведено у додатках до дисертації.

**Важливість для науки одержаних автором дисертації результатів.** Розроблені автором модель та підхід до математичного моделювання процесів дифузії, за яких крайові задачі формулюються безпосередньо на функцію потоку, дозволяють досліджувати таку характеристику процесу масоперенесення як дифузійний потік у випадково неоднорідних середовищах за довільного ймовірного розподілу фаз та стохастичних товщин підшарів. Отримані модельні співвідношення дають можливість якісно та кількісно описувати характерні особливості усереднених потоків маси у тілах випадково неоднорідної шаруватої структури. Результати та висновки дисертаційної роботи **доцільно використати** для



зменшення енергозатрат та сировинних ресурсів під час виготовлення шаруватих композиційних матеріалів, збільшення часу ефективного функціонування шаруватих промислових фільтрів, при проведенні оцінки земельних ділянок для виконання будівельних робіт, а також у навчальному процесі вищих навчальних закладах.

**Відповідність дисертації та автореферату встановленим вимогам.**

Дисертаційна робота Давидок А.Є. відповідає вимогам МОН України щодо кандидатських дисертацій, а також паспорту спеціальності «Математичне моделювання та обчислювальні методи» (технічні науки), а саме напрямкам “Розроблення або розвиток теорії математичного моделювання реальних явищ, об’єктів, систем чи процесів як сукупності формалізованих дій (операцій) для складання ефективних математичних описів досліджуваних об’єктів”, “...отримання принципово нових (нетрадиційних) видів моделей...”, “Розвиток, ефективне використання методів обчислювальної математики стосовно вирішення проблем дослідження ...”.

**Автореферат** відповідає змісту дисертації і відображає отримані в ній основні наукові результати та висновки. Дисертаційна робота та автореферат написані грамотно, послідовно та мають завершену логічну структуру. Стиль викладення наукових положень та отриманих результатів забезпечує доступність їх сприйняття.

**Зауваження до дисертаційної роботи:**

- 1) При побудові математичної моделі дифузії, що описує потік маси у випадково неоднорідному шаруватому середовищі, не вказана область її застосовності.
- 2) Крайова задача дифузії на потік для однорідного тіла розв’язується стандартним методом Фур’є. Результати числового аналізу одержаних розв’язків представлені на рис. 2.4, рис. 2.6-2.9. При цьому у випадку сталої ненульової початкової концентрації функція, що задає значення дифузійного потоку на нижній границі тіла, різко зростає при час прямує до нуля (рис. 2.4, b). Більш того, криві, як здається, прямують до безмежності у точці нуль. Необхідне пояснення такої поведінки функції.
- 3) Властивості функції Гріна, яка використовується у роботі, проілюстровані рисунком 2.5, а також описані за результатами числових розрахунків. На мою думку, сингулярність функції Гріна могла бути простежена у більш явному вигляді.

Зроблені зауваження не торкаються суті отриманих нових результатів і **не знижують загальної високої оцінки наукової і практичної значимості дисертації Давидок А.Є.**


Автореферат правильно та достатньо повно висвітлює загальну характеристику, зміст і висновки дисертації. Оформлення дисертації та автореферату відповідають вимогам ДАК України щодо дисертацій та їх авторефератів.

## ВИСНОВОК.

Подана до захисту дисертація є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності дозволяють вирішити наукове завдання математичного моделювання дифузійних потоків у двофазних випадково неоднорідних шаруватих структурах. Вона відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

За актуальністю теми, обсягом і рівнем проведених досліджень, науковою новизною та практичною цінністю одержаних результатів дисертаційна робота *Давидок Анастасії Євгенівни «Математичне моделювання дифузійних потоків у двофазних стохастично неоднорідних шаруватих структурах»* відповідає встановленим вимогам, зокрема, п. 11 “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника”, щодо кандидатських дисертацій, а її автор за проведені дослідження заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент,  
старший науковий співробітник  
Карпатського відділення Інституту геофізики  
ім. С. І. Субботіна НАН України,  
доктор технічних наук, ст.н.с.

 Л. М. Журавчак  
23.02.2016 р.

Підпис Л.М. Журавчак засвідчую.

Вчений секретар Карпатського відділення

Інституту геофізики ім. С.І. Суботіна НАН України

к. ф.-м. н.





О.Я. Сапужак