

ВІДГУК офіційного опонента

на дисертаційну роботу *Жуковського Віктора Володимировича* «**Математичне та комп'ютерне моделювання масопереносу сольових розчинів в каталітичних та дисперсних середовищах частинок мікропористої структури**», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Актуальність теми дисертації

В умовах інтенсивного розвитку новітніх технологій зростають можливості математичного та комп'ютерного моделювання різних фізичних процесів, особливо на мікро- та нанорівнях. Цікавими в цьому плані є наукові дослідження впливу наноматеріалів на навколишнє середовище та здоров'я людини в тому числі. Зокрема, докладаються значні зусилля для вивчення використання наноматеріалів у таких процесах, як каталіз, адсорбція, очищення від забруднених речовин з метою кращого захисту якості навколишнього середовища. Унікальні та недорогі сильносорбційні наноматеріали з'являються у вільному продажі. Тому стає перспективним використання цих сучасних інженерних наноматеріалів для поліпшення очистки від забруднених речовин. Ще досі в районах постраждалих від аварії на ЧАЕС, спостерігається забруднення радіонуклідами в ґрунтах. Разом з тим, значні площі цих земель містять спеціальні дренажно-модульні системи із вертикальним та горизонтальним дренажем. І дані системи можуть бути використані для нагнітання сорбуючих мікро- та наночастинок або як фільтри-вловлювачі вже використаних частинок. Дані постановки задач не розглядалися раніше, що обумовлює актуальність дослідження та потребує побудови нових математичних моделей для отримання фундаментального розуміння різних процесів хімічної і фізичної міграційної поведінки з використанням каталітичних пористих частинок для забезпечення розвитку ефективних стратегій оцінки ризику та прогнозування очищення ґрунтових масивів.

Тому дисертаційна робота, що присвячена розробці математичних моделей процесів фільтрації сольових розчинів, зокрема, радіонуклідів, в каталітичних та дисперсних середовищах частинок мікропористої структури та їх чисельному розв'язанню, відноситься до **актуальних і практично-важливих задач** в напрямку математичного моделювання та подальшого розвитку чисельних методів.

Представлені в дисертаційній роботі результати виконані в рамках чотирьох науково-дослідних тем Національного університету водного господарства та природокористування, які мають відповідні номери державної реєстрації. Зокрема, Жуковський В. В. побудував нові математичні моделі процесів тепломасопереносу в каталітичних та дисперсних середовищах

частинок мікропористої структури, розробив обчислювальні алгоритми та кросплатформенний програмний комплекс "NanoSurface" для чисельного розв'язання поставлених крайових задач в одно- та двовимірному випадках.

Дисертаційна робота відповідає програмам пріоритетних напрямів фінансування науки в Україні в розділах «Фундаментальні дослідження», «Інформаційні і комунікаційні технології», «Дослідження, що гарантують конкурентоспроможність і економічне зростання».

Наукова новизна, ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій та достовірності отриманих результатів

У дисертаційній роботі розв'язано нове наукове завдання математичного моделювання міграції забруднених речовин у ґрунтовому середовищі при наявності каталітичних частинок мікропористої структури, що на відміну від існуючих, враховують вплив масопереносу в пористих мікро- та наносорбентах. Зокрема, отримано низку нових наукових результатів.

Вперше побудовано одновимірні математичні моделі міграції забруднених речовин при фільтрації підземних вод у ґрунтовому середовищі за наявності каталітичних частинок мікропористої структури, що на відміну від існуючих, враховують вплив масопереносу в пористих мікро- та наносорбентах на загальну кінетику процесу. Удосконалено дані математичні моделі з урахуванням неізотермічних умов, нелінійної залежності коефіцієнтів дифузії та фільтрації від концентрації, впливу дифузії у скелеті ґрунту.

Вперше побудовано нелінійну двовимірну математичну модель міграції радіонуклідів при фільтрації підземних вод до системи горизонтальних фільтрів-вловлювачів у каталітичному пористому середовищі, що на відміну від існуючих, враховує внутрішньочастинкову дифузію в мікро- та наносорбентах з метою пришвидшення очищення забруднених ґрунтів.

Для знаходження чисельних розв'язків розглянутих крайових задач тепломасопереносу *отримав подальшого розвитку* метод скінченних різниць та метод прогонки за рахунок розпаралелювання алгоритмів. Це дозволило прискорити його швидкодію завдяки більш ефективному використанню обчислювальних ресурсів комп'ютерних систем зі спільною пам'яттю.

Достовірність отриманих автором результатів, висновків і рекомендацій забезпечується застосуванням сучасних методів математичного моделювання, фізичною і математичною коректністю постановок крайових задач взаємозв'язаних процесів перенесення солей, фільтрації та вологоперенесення у насичено-ненасичених ґрунтах, строгим обґрунтуванням побудованих розв'язків, застосуванням достатньо обґрунтованих та апробованих підходів теорій фільтрації та дифузії, використанням сучасних чисельних методів і засобів обчислювальної техніки, а також несуперечністю одержаних результатів з відомими з літературних джерел теоретичними та експериментальними даними, що підтверджує адекватність запропонованих математичних моделей досліджуванам фізичним процесам.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, визначається використанням сучасних підходів до механіки пористого середовища, теорії фільтрації, тепло- та масопереносу як в ґрунтових, так і в каталітичних та дисперсних середовищах частинок мікропористої структури

Про обґрунтованість та достовірність отриманих результатів також свідчить їх опублікування в іноземному фаховому рецензованому виданні та вітчизняних фахових виданнях з технічних наук, а також апробаціями їх на наукових конференціях та наукових семінарах.

Повнота викладу в опублікованих працях

Основні результати дисертаційної роботи викладено у 32 наукових працях, серед яких серед яких 9 статей, з них – 1 стаття в іноземному науковому виданні («Инженерно-физический журнал», що індексується у міжнародних наукометричних базах Scopus (квартиль Q2), INSPEC, Google Scholar та ін., та її англійський переклад в «Journal of Engineering Physics and Thermophysics»); 6 статей у фахових виданнях України з технічних наук; 2 статті у наукових виданнях іноземних держав; без співавторів опубліковано 1 статтю. Отримано 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір на комп'ютерну програму “NanoSurface (моделювання масопереносу сольових розчинів в каталітичних та дисперсних середовищах частинок мікро- та нанопористої структури)”.

Матеріали дисертації пройшли достатню апробацію, зокрема доповідались автором на 22-ох міжнародних і всеукраїнських конференціях та 4 наукових семінарах ВНЗ України (розширеному засіданні кафедри прикладної математики Національного університету водного господарства та природокористування; міжкафедральному науковому семінарі факультету прикладної математики та інформатики Львівського національного університету імені Івана Франка; науковому семінарі кафедри системного аналізу та теорії прийняття рішень Київського національного університету імені Тараса Шевченка; науковому семінарі Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору), на яких отримали позитивну оцінку.

Аналіз опублікованих автором наукових праць показав, що в них достатньо повно викладено основні результати, отримані в дисертації. Кількість та рівень публікацій відповідають встановленим вимогам.

Автореферат правильно і з достатньою повнотою відображає основний зміст дисертації.

Практична цінність роботи

Проведені дослідження дають можливість аналізувати ступінь впливу сорбуючих мікро- та наночастинок, температури, нелінійних залежностей швидкості фільтрації та коефіцієнтів дифузії на процес вертикальної міграції

радіонуклідів при фільтрації підземних вод. Побудовано відповідні математичні моделі.

З метою ефективного прогнозування та оцінки очищення і подальшого використання ґрунтових масивів розроблено інтелектуальний інтерфейс у вигляді кросплатформенного комплексу програмного забезпечення NanoSurface, що дозволяє проводити комп'ютерне моделювання масопереносу сольових розчинів при фільтрації підземних вод в каталітичних та дисперсних середовищах частинок мікро- та нанопористої структури (в одно- та двовимірному випадках, в ізо- та неізотермічних умовах, нелінійній постановці, тощо) на різних операційних системах (Windows, Linux, iOS) та хмарному середовищі Azure.

Результати проведених у дисертаційній роботі досліджень впроваджено в роботі Рівненської філії державної установи «Інститут охорони ґрунтів України» для моделювання вертикальної міграції радіонуклідів в пористому ґрунтовому середовищі, а також ТзОВ «Волиньсапрофос» при покращенні формули поліпшувача ґрунту та добрива. Також розроблені в дисертаційній роботі математичні моделі були використані в роботі Інституту сільського господарства Західного Полісся для дослідження процесу вапнування із використанням шламів, що були отримані після очистки води, яка використовувалась при охолодженні реакторів Рівненської АЕС. Програмний комплекс NanoSurface використовувався управлінням економіки, інфраструктури та інвестиційної діяльності Рівненської районної державної адміністрації для формування ефективних стратегій оцінки ризику та прогнозування міграції різного роду речовин в ґрунтових масивах при розробленні проектів прогнозів економічного і соціального розвитку області на середньо- та довгостроковий період.

Також теоретичні та практичні результати досліджень використано в навчальному процесі при виконанні кваліфікаційних робіт студентами освітніх програм «Прикладна математика» та «Комп'ютерні науки», а також при підготовці та викладанні ряду тем з наступних дисциплін: «Теорія систем та математичне моделювання», «Математичне і комп'ютерне моделювання природних та техногенних процесів», «Паралельні та розподілені обчислення».

Зауваження до дисертаційної роботи

1. В рівнянні нерозривності процесу міститься доданок $\frac{\partial \sigma_1}{\partial t}$, який не впливає на досліджувані в роботі процеси і включення якого буде більш доречний при вивченні напружено-деформівних процесів в основах гідротехнічних споруд.
2. При проведенні чисельних експериментів та аналізі їх результатів бажано було б проводити розрахунки в безрозмірних величинах або ж використовувати розмірність величин в міжнародній системі одиниць (SI).
3. При розгляді процесу масопереносу протягом тривалого періоду (наприклад, 1 рік) сорбуючі мікро- та наночастинки спочатку накопичують забруднення, а потім можуть з часом «віддавати» забруднення назад в сольовий розчин,

аналогічно до «пасток» в скелеті ґрунту. Однак, про це ніде не згадується в роботі.

Висловлені зауваження не впливають на загальну високу позитивну оцінку наукової та практичної цінності роботи.

Висновок

Вважаю, що подана до захисту дисертаційна робота Жуковського Віктора Володимировича «Математичне та комп'ютерне моделювання масопереносу сольових розчинів в каталітичних та дисперсних середовищах частинок мікропористої структури» є завершеним науковим дослідженням, в якому отримано нові науково-обґрунтовані результати, що дозволяють вирішити актуальну та важливу науково-практичну задачу моделювання міграції забруднених речовин у ґрунтовому середовищі при наявності каталітичних частинок мікропористої структури з урахуванням впливу масопереносу в пористих мікро- та наносорбентах.

Автореферат оформлений згідно з діючими вимогами МОН України та відповідає змісту дисертації. Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи, а також встановленим вимогам щодо кандидатських дисертацій, зокрема, п. 9, 11, 12 та 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою КМУ № 567 від 24 липня 2013 р. зі змінами. Жуковський Віктор Володимирович за проведені дослідження заслуговує присвоєння йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент,

доктор технічних наук, професор,
заступник завідуючого відділу автоматизації
досліджень та сейсмостійкості будівель та споруд
Державного підприємства «Державний науково-
дослідний інститут будівельних конструкцій»

Ю. І. Калюх

Ю. І. Калюх

14.12.2018

