

## ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу **Жуковської Наталії Анатоліївни** „*Математичне моделювання впливу тепло-масоперенесення при фільтрації сольових розчинів на деформаційні процеси ґрунтових масивів*”, подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи

### **Актуальність теми дисертації**

В умовах інтенсивного впливу різноманітних факторів людської діяльності та дії техногенних факторів на навколишнє середовище, зокрема забруднення ґрунтових вод різними розчинами солей, коливаннями температури, захороненням відходів виробництва тощо, змінюються гідрогеологічні властивості ґрунтових середовищ. При цьому внаслідок гідродинамічних сил фільтраційного потоку та зміни власної ваги ґрунту, фільтраційних властивостей, може змінитись напружено-деформований стан ґрунтових масивів і основ, що, в свою чергу, досить часто є причиною виникнення аварійних ситуацій.

Одним із сучасних методів прогнозування деформаційних процесів ґрунтових масивів та основ цивільних, промислових і гідротехнічних об'єктів та споруд, які потрапляють в зону впливу різних фізико-хімічних факторів, є математичне та комп'ютерне моделювання, що передбачають побудову та дослідження адекватних математичних моделей з їх подальшою верифікацією та удосконаленням.

Тому дисертаційна робота, присвячена розробці математичних моделей напружено-деформованого стану ґрунтових середовищ з урахуванням тепло-масоперенесення за фільтрації сольових розчинів у неізотермічних умовах 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 двох науково-дослідних тем Національного університету водного господарства та природокористування, які мають відповідні номери державної реєстрації. Зокрема, Жуковська Н. А. побудувала нові математичні моделі напружено-деформованого стану ґрунтових масивів і основ з урахуванням тепло-масоперенесення за фільтрації сольових розчинів у неізотермічних умовах, розробила обчислювальні алгоритми та комплекс програм 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 впливу тепло-масоперенесення за наявності фільтрації сольових розчинів на деформаційні процеси ґрунтових масивів і основ. Зокрема, отримано низку нових наукових результатів.

Побудовано нові математичні моделі напружено-деформованого стану ґрунтових середовищ з урахуванням тепло-масоперенесення при фільтрації сольових розчинів у неізотермічних умовах та залежностей коефіцієнтів фільтрації від концентрації сольового розчину та температури та коефіцієнтів Ламе і модуля Юнга від концентрації сольового розчину. На основі побудованих математичних моделей сформульовано відповідні частково нелінійні крайові задачі в одновимірних та двовимірних постановках. Зокрема, отримано систему рівнянь рівноваги для зміщень з урахуванням залежностей коефіцієнтів Ламе від концентрації сольових компонент, а також отримано додаткові умови для зміщень і напружень. Розглянуто деформаційні процеси з урахуванням тепло-масоперенесення в ґрунтових середовищах, що є водонасиченими, з вільною поверхнею та при наявності шарів з різними механічними та фізико-хімічними характеристиками.

Для знаходження чисельних розв'язків розглянутих задач застосований метод скінченних різниць, зокрема з використання чисельних конформних відображень, ітераційний метод Гауса-Зейделя для знаходження зміщень. Побудовано чисельні конформні відображення розглянутих областей фізичних площин на параметричні прямокутники комплексних площин, а також, у зв'язку з цим, математичні моделі поставлених крайових задач записано в комплексній площині.

Розроблені здобувачем алгоритми реалізовані програмно з використанням сучасних технологій програмування, зокрема створено програмний комплекс у середовищі Microsoft Visual Studio Express 2013 (0011- мова C#), що дозволило дисертанту провести чисельні експерименти та проаналізувати отримані результати.

В результаті програмної реалізації розроблених обчислювальних алгоритмів отримано розподіли зміщень, нормальних та дотичних напружень і деформацій, концентрації сольових розчинів, температури та п'езометричних напорів в

розглянутих ґрунтових середовищах. Встановлено вплив концентрації сольових розчинів, температури та сумісно концентрації сольових розчинів і температури на деформаційні процеси ґрунтових масивів.

Встановлено вплив наявності вільної поверхні ґрунтових вод та багат шаровості ґрунту на деформаційні процеси ґрунтових масивів при врахуванні тепло-масоперенесення та залежностей коефіцієнтів фільтрації, коефіцієнтів Ламе та модуля Юнга від концентрації сольового розчину.

Достовірність отриманих автором результатів, висновків і рекомендацій забезпечується застосуванням сучасних методів математичного моделювання, фізичною і математичною коректністю постановок крайових задач та строгим обґрунтуванням побудованих розв'язків, несуперечністю одержаних результатів з відомими з літературних джерел теоретичними результатами та тестовими прикладами, що підтверджує адекватність запропонованих математичних моделей досліджуваним фізичним процесам.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, визначається використанням сучасних підходів до механіки суцільного середовища, зокрема механіки деформівного тіла та механіки пористого середовища, теорії термопружності, фільтрації та тепло- масоперенесення.

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 29 наукових працях, серед яких 9 статей, з них - 1 стаття в іноземному науковому виданні («Инженерно-физический журнал», що індексується у міжнародних високо рейтингових наукометричних базах Thonson Reuter Web Of Sciece, Scopus, INSPEC, Google Scholar та ін., та її англomовний переклад в «Journal of Engineering Physics and Thermophysics»); 8 статей у фахових виданнях з технічних наук; без співавторів опубліковано 1 статтю.

Матеріали дисертації пройшли достатню апробацію, зокрема доповідались автором на 20-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 «Математичне моделювання та обчислювальні методи» у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя), 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 деформаційні проники, що відбуваються в ґрунтових масивах і основах за наявності тепло-масоперенесення при фільтрації сольових розчинів, вільної поверхні та багат шаровості ґрунтового масиву з різними фізико-хімічними та механічними властивостями його шарів. Побудовано відповідні математичні моделі та створено програмний комплекс для чисельного розв'язання поставлених в роботі крайових задач. Це дає можливість замінити трудомісткі та дорогі практичні інженерні експерименти.

Результати дисертаційної роботи отримані в рамках двох держбюджетних НДР (№ ДР 01110U00816, № ДР 0113U004052). Результати проведених у дисертаційній роботі досліджень використано в практиці роботи гідротехнічного цеху при експлуатації ґрунтової греблі ставка-охолоджувача Хмельницької АЕС (м. Нетішин), а саме: побудовано математичну модель напружено-деформованого стану ґрунтової греблі ставка-охолоджувача ХАНС з урахуванням процесів тепло-масоперенесення при фільтрації сольових розчинів; знайдено чисельний розв'язок поставленої крайової задачі; отримано значення полів зміщень, напружень, деформацій, напорів, концентрації солей та температури ґрунтової греблі, поля надлишкових тисків розчинів солей та маси винесених солей і фільтраційної витрати рідини; проведено чисельні експерименти та їх аналіз.

Також теоретичні та практичні результати досліджень використано в навчальному процесі при підготовці спецкурсів «Теорія систем та математичне моделювання», «Математичне і комп'ютерне моделювання природних і техногенних

процесів» та виконанні кваліфікаційних, дипломних і магістерських робіт студентами за галуззю знань 0403 «Системні науки та кібернетика» спеціальності «Прикладна математика».

### **Зауваження до дисертаційної роботи**

1. Здобувачем у першому розділі дисертаційної роботи побудовано математичну модель напружено-деформованого стану ґрунтового масиву з урахуванням тепло-масоперенесення при фільтрації сольових розчинів у тривимірному випадку. Однак, чисельних експериментів та їх аналізу для тривимірної задачі не проведено.

2. В пункті 5 загальних висновків дисертаційної роботи вплив тепло-масоперенесення, наявності вільної поверхні та багатшаровості ґрунтового масиву на деформаційні процеси ґрунтового масиву сформульовано узагальнено. Необхідно було б конкретно зазначити вплив вищезгаданих факторів.

3. Автор стверджує про нелінійну залежність моделі у сенсі залежностей коефіцієнтів Ламе від концентрації солей (точніше було б вказати від «сумарної концентрації сольового розчину», оскільки автором не розглядається вплив конкретних сольових інградієнтів) та температури середовища. Однак, використовувані в розрахунках ці залежності мають вигляд виключно залежностей від концентрації  $\lambda(\tilde{n})$ ,  $\mu(\tilde{n})$  (с. 49. дисертації). Те ж саме можна віднести до коефіцієнтів дифузії  $D$ ,  $D_T$ , які по суті беруться в розрахунках константними величинами:  $D(c,T) = D_T = \text{const.}$  (с.55, 62 дисертації).

4. Слід було б обґрунтувати окремі значення параметрів, що використовуються як вихідні для числового моделювання, як, наприклад,  $D = D_T = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{добу}$ , що б хоча можна було б зрозуміти про значення провідності яких саме речовин чи груп речовин іде мова.

5. На низку таблиць і формул, які запозичуються в якості апроксимацій нелінійних залежностей відсутні безпосередні посилання в тексті (табл. 1.1. 1.2 та нижче використовувані формули без нумерації (розділ 1, сі. 46, 49 відповідно).

6. На сі. 5, у п'ятому абзаці перерахований цілий список дослідників (Сулим Г.Т., Яинський Ф.С, Кривень В.А., Шелестовський Б.Г. та ін.), які не мають ніякого відношення до питань, розглядуваних у дисертації.

7. Аналіз закордонних авторів слід було б зробити детальнішим. Так, наприклад, дуже поверхнево показані результати відомих французьких шкіл в галузі (Е. Воробієв, Ж.Л. Ленуазьель, Д. Гріммі, Ж.-М. Бове та ін.), японські школи (М.

Шірато, М. Івата), британські школи (Р. Вакеман, П.Тарлетон та ін.) в галузі консолідації стискуваних середовищ, у тому числі немінеральної і органічної природи.

8. У працях Петрика М.Р, на які посилається автор (1-й рядок 6 стор. автореферату і відповідно у дисертації не досліджується вплив сольових розчинів на фільтраційної консолідації ґрунтів, а більше впливи мікропотоків стискуваних волого містких частинок на сумарний волого перенос.

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

## Висновок

Вважаю, що дисертаційна робота Жуковської Наталії Анатоліївни «Математичне моделювання впливу тепло-масоперенесення при фільтрації сольових розчинів на деформаційні процеси ґрунтових масивів» є завершеним науковим дослідженням, в якому отримано нові науково-обґрунтовані результати, що дозволяють вирішити актуальну та важливу науково-практичну задачу моделювання впливу тепло-масоперенесення на напружено-деформований стан ґрунтових масивів і основ.

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. 11 "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника", а її автор Жуковська Наталія Анатоліївна за проведені дослідження заслуговує присвоєння їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи.

### Офіційний опонент,

завідувач кафедри програмної інженерії  
Тернопільського національного технічного  
університету імені Івана ПУШОЯ,  
докт. фіз.-мат. наук, професор

М. Р. Петрик

Підпис М. Р. Петрика засвідчую:

Наталя Михайлівна ВК



*[Handwritten signature]*

*У. Б. Тавришук*

*[Handwritten signature]*  
13.06.16