

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Мічути Ольги Романівни

на тему «Математичне моделювання фільтраційної консолідації ґрунтів з

урахуванням впливу хімічної суфозії»

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні

методи

Актуальність теми. Тема дисертації пов'язана з дослідженням впливу хімічної суфозії на деформації ґрунтів та просідання їх поверхонь у випадку, коли вони перебувають в нестабільному стані. Важливість моделювання таких процесів пов'язана з наявністю біля великих промислових підприємств сховищ твердих відходів або сховищ хімічних відходів, які містять висококонцентровані розчини солей в рідкому вигляді. При потраплянні в ґрунт ці відходи можуть взаємодіяти з солями, що містяться в ньому. В результаті такої взаємодії можуть, по-перше, утворюватись раніше відсутні в ґрунті хімічні сполуки, та, по-друге, змінюватись концентрації граничного насичення вже присутніх сполук, що в свою чергу може призводити до їх додаткового розчинення або випадку в осад. Наслідком таких процесів можуть стати додаткові просідання чи набухання ґрунту, що, як результат, може спричинити аварійні стани будівель. В дисертаційній роботі створені математичні моделі фільтраційної консолідації ґрунтів які враховують вплив багатокомпонентних хімічних розчинів на консолідаційний процес. В існуючих наукових працях інших авторів ці взаємопов'язані процеси вивчені ще не достатньо повно як теоретично, так і експериментально. В дисертації О. Р. Мічути сформульовані математичні моделі, які враховують не лише фільтрацію багатокомпонентного за своїм хімічним складом порового розчину, але і вплив на вищевказані процеси хімічної суфозії. Тому тема поданої до захисту дисертації є цілком актуальною. Вона має не лише наукове, але і прикладне значення.

Зміст дисертації розкриває тему і відповідає спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи (технічні науки), по якій робота представлена до захисту. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків і списку використаних джерел. Обсяг дисертації становить 175 сторінок, основний текст роботи викладено на 143 сторінках. За темою дисертації опубліковано 22 наукові праці, у тому числі: 1 стаття у виданні, що включене в наукометричну базу Scopus, 1 стаття у виданні з наукометричної бази РИНЦ, 9 статей у наукових фахових виданнях, 2 статті опубліковано одноосібно. Основні наукові результати дисертації достатньо повно відображені в публікаціях автора.

У вступі обґрунтовано актуальність вибраної теми, висвітлено стан наукової проблеми та її значимість, сформульовано предмет та мету досліджень, визначено наукову новизну роботи і практичне значення отриманих результатів. Важливим є те, що робота виконувалась згідно з держбюджетними науково-дослідними темами кафедри прикладної математики Національного університету водного господарства та природокористування.

Дисертація **пройшла апробацію** на Всеукраїнських та міжнародних наукових конференціях. Дисертаційна робота обговорювалась також на розширеному науковому семінарі кафедри прикладної математики Національного університету водного господарства та природокористування, на семінарі кафедри прикладної математики Львівського національного університету імені Івана Франка, на розширеному науковому семінарі кафедри інформатики та прикладної математики Рівненського державного гуманітарного університету та на науковому семінарі «Математичне моделювання та обчислювальні методи» в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя.

У **першому розділі** дисертаційної роботи наведений достатньо повний огляд літератури з питань фільтраційної консолідації засолених ґрунтів, розглянуто типи солей, які можуть бути присутні в ґрунтах. Особливу увагу приділено дослідженню гіпсу, як середньорозчинній солі, що засолює ґрунт.

Як окреме питання розглянуто процеси масопереносу багатокомпонентних хімічних розчинів в різних пористих середовищах, види масообмінних процесів та процес хімічної суфозії, як їхній наслідок. Проаналізовано стан наукових досліджень з математичного моделювання досліджуваних проблем, зокрема, наведено огляд та аналіз чисельних методів розв'язання крайових задач з вільними рухомими межами, обґрунтовано вибір методу радіальних базисних функцій для розв'язання розглядуваних задач. Обґрунтована мета і поставлені задачі наукових досліджень.

Другий розділ дисертації присвячений побудові нової математичної моделі фільтраційної консолідації пористого середовища (на прикладі ґрунту) з урахуванням впливу хімічної суфозії та багатокомпонентного хімічного розчину. Показано, що основою цих математичних моделей є нелінійні диференціальні рівняння фільтраційної консолідації, масопереносу, кінетики масообміну, теплопереносу. Розглянуті крайові умови, зокрема, автором вдосконалену кінематичну граничну умову для отримання величини просідань верхньої рухомої межі ґрунту шляхом урахування впливу хімічної суфозії та багатокомпонентного хімічного розчину.

У третьому розділі проведене математичне моделювання фільтраційної консолідації ґрунтів з урахуванням їх засоленості та впливу хімічної суфозії. Для визначення величини просідань використано вдосконалену кінематичну граничну умову на верхній рухомій межі масиву ґрунту, в якій враховано вплив хімічної суфозії.

Числовий розв'язок відповідних одно-, дво- та тривимірної нелінійних крайових задач для систем параболічних рівнянь, що доповнені рівняннями кінетики масообмінних процесів, знайдено безсітковим методом радіальних базисних функцій.

Наведено результати ряду чисельних експериментів та здійснено їх аналіз. Зокрема, досліджено частковий випадок фільтраційної консолідації шару засоленого глинистого ґрунту з урахуванням ряду факторів. Порівнюючи розподіл надлишкових напорів при врахуванні таких факторів, як просідання та засоленість ґрунту, автор доходить висновку що напори розсіюються

повільніше у випадку засоленого ґрунту, аніж у випадку незасоленого. Також відмічено, що при врахуванні наявності солей в рідкій та твердій фазах спостерігається уповільнення розсіювання надлишкових напорів, а також збільшення величини просідань ґрунту.

Наведено також результати позитивної експериментальної перевірки стійкості використаної обчислювальної схеми при зміні кроку моделювання по часу у випадку розв'язання одновимірних задач.

Отримані результати підтвердили висновки інших дослідників, що в процесі тривалої фільтраційної консолідації за наявності хімічної суфозії здійснюється значне вилуговування сольового комплексу, внаслідок чого відбувається суфозійне осідання поверхні ґрунту і можуть виникати значні деформації будівель, що розміщені на них. Отримані дисертантом результати дозволяють спрогнозувати величину таких просідань.

У четвертому розділі наводяться результати моделювання процесів фільтраційної консолідації ґрунтів з урахуванням впливу багатоконпонентного хімічного розчину. Для визначення величини просідань верхньої рухомої межі ґрунту використано кінематичну граничну умову, в якій враховано вплив багатоконпонентного хімічного розчину та хімічної суфозії.

Числовий розв'язок відповідних одно-, дво- та тривимірної нелінійних крайових задач, як і в попередньому розділі, знайдено безсітковим методом радіальних базисних функцій.

Наведені результати чисельних експериментів по моделюванню фільтраційної консолідації загіпсованих ґрунтів при надходженні в них розчину звичайної кам'яної солі. При проведенні експериментів враховано залежність концентрації граничного насичення гіпсу від концентрації розчину звичайної кам'яної солі та температури. Показано, що при урахуванні цього фактору збільшується величина просідань верхньої рухомої межі досліджуваного масиву ґрунту.

Результати, які підтверджують вищесформульовані висновки, отримані і при дослідженні фільтраційної консолідації греблі-огороджувача хвостосховища рідких хімічних відходів побудованої із загіпсованих ґрунтів.

Для одновимірних задач наведено результати позитивної перевірки стійкості обчислювальної схеми при зміні кількості вузлових та колокаційних точок.

В додатку А до роботи міститься опис користувацького інтерфейсу програмного комплексу у якому реалізовані розроблені в роботі алгоритми розв'язання задач.

Основні результати, отримані автором вперше, які визначають **наукову новизну** роботи, зводяться до наступного.

Вперше сформовано нелінійну неізотермічну математичну модель хімічної суфозії в ґрунтах, що враховує фактор надходження в ґрунт хімічних розчинів.

Вперше побудовано нелінійну математичну модель взаємозв'язаних процесів фільтраційної консолідації та хімічної суфозії в пористих середовищах з урахуванням залежності концентрації граничного насичення одних хімічних речовин від присутності в поровій рідині інших хімічних речовин та температури, а також залежності коефіцієнта фільтрації від концентрації солей в твердій фазі.

Вдосконалено кінематичну граничну умову на верхній рухомій межі ґрунту шляхом урахування величини просідань за рахунок хімічної суфозії.

Вперше досліджено можливість застосування безсіткового методу радіальних базисних функцій для знаходження розв'язків нелінійних крайових задач фільтраційної консолідації ґрунтів з урахуванням впливу хімічної суфозії та багатокомпонентності хімічного складу порового розчину.

Ці положення достатньо обґрунтовані, підтверджені числовими експериментами, мають наукове та практичне значення.

Практичне значення роботи полягає в наступному.

Проведені в дисертаційній роботі дослідження можуть бути використані при проектуванні будівель, енергетичних та гідротехнічних об'єктів, а також при розрахунку стійкості ґрунтових споруд і прогнозуванні осідань основ будівель при проектуванні промислових підприємств та сховищ відходів хімічних виробництв в районах розповсюдження загіпсованих ґрунтів.

Результати дисертації **впроваджено** в процесі спільних з Рівненським обласним управлінням водних ресурсів досліджень можливості виникнення загрози руйнування внаслідок хімічної суфозії ґрунтової греблі, що оточує Басівкутське водосховище (м. Рівне).

Одержані в дисертаційній роботі результати **впроваджені** в навчальному процесі Національного університету водного господарства та природокористування МОН України при підготовці спецкурсів «Математичне і комп'ютерне моделювання природних та техногенних процесів» та «Чисельні методи прикладної математики».

Автореферат дисертації повністю відображає зміст роботи і відповідає вимогам МОН України.

Зауваження щодо змісту та оформлення дисертаційної роботи наступні:

1. При розв'язанні сформульованих в роботі задач безсітковим методом радіальних базисних функцій отримуються переозначені системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Властивості таких систем були досліджені автором лише у одному частинному випадку. Слід було б дослідити дані системи детальніше;

2. При описі застосування методу радіальних базисних функцій для знаходження розв'язків досліджуваних задач не конкретизовано те, яким чином відбувається початкове покриття області вузловими та колокаційними точками. Варто також було б провести дослідження впливу початкового розподілу на точність розрахунків;

3. У роботі не наведено обґрунтовування припущення стосовно того, що в процесі консолідації масив ґрунту просідає лише у вертикальному напрямку (п.3.3.2);

4. Дисертація оформлена належним чином, однак в списку літератури трапляються технічні помилки.

Висновки. Дисертаційна робота Мічути О. Р. є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати щодо математичного моделювання процесів фільтраційної консолідації ґрунтів з урахуванням впливу хімічної суфозії та багатокомпонентного хімічного

розчину. Отримані результати дозволяють встановити ступінь впливу вище наведених факторів на величину просідань верхньої рухомої межі пористого середовища, яка, в свою чергу, може бути використана для прогностичної оцінки надійності та довговічності споруд зведених на засолених ґрунтах.

Дисертаційна робота Мічути О.Р. “Математичне моделювання фільтраційної консолідації ґрунтів з урахуванням впливу хімічної суфозії” виконана на високому науковому рівні і відповідає вимогам п. 11-14 “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника”, затвердженого постановою КМ України від 4 липня 2013 р. N 567, які висуваються до кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи (технічні науки).

Офіційний опонент:

кандидат технічних наук,
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова
НАН України,
старший науковий співробітник
відділу №175 математичних систем моделювання
проблем екології та енергетики, м. Київ.

Богасенко В. О.