

## ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу П.М. Мартинюка “*Математичне моделювання консолідації ґрунтів з урахуванням техногенного впливу та комплексу фізико-хімічних процесів*”, подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи

**Актуальність теми дисертації.** Одним із методів прогнозування процесів консолідації та фільтраційного руйнування ґрунтових основ цивільних, промислових і гідротехнічних споруд, які попадають в зону впливу інтенсивних змінних фізико-хімічних полів є математичне моделювання. Математичне моделювання, як метод та методологія передбачає не лише побудову адекватних математичних моделей, але і їх дослідження з метою верифікації, удосконалення, а також для здійснення прогнозних оцінок перебігу реальних процесів.

Проведення натурних експериментів з фільтраційного руйнування ґрунтів нерідко вимагає значних затрат ресурсів та часу. Тому в багатьох випадках доцільніше застосовувати математичне та комп’ютерне моделювання. Особливо це стосується тих об’єктів та процесів, де проведення натурних експериментів фізично неможливе, занадто дороге чи дуже трудомістке. Інколи математичне моделювання процесів консолідації та фільтраційного руйнування в умовах впливу техногенних факторів є єдиним доступним способом дослідження актуальних наукових та інженерних проблем у даній галузі. При цьому математичні моделі та методи розв’язування відповідних задач повинні, зокрема, враховувати нелінійність відповідних процесів, наявність рухомих меж в областях їх дослідження, неоднорідність середовища та ряд інших його особливостей. Отже, тема дисертаційної роботи П. М. Мартинюка є актуальною, важливою з точки зору існуючих інженерних проблем та сприяє подальшому науковому розвитку в галузі математичного моделювання процесів переносу в геопористих середовищах.

За своїм науковим спрямуванням дисертаційна робота відповідає програмам і планам наукових досліджень НУВГП (м. Рівне) зокрема за темами: “Математичне та комп’ютерне моделювання природних, техногенних і інформаційних систем” (№ ДР 0104U003122); “Математичне та комп’ютерне моделювання впливу природних та техногенних факторів на стан ґрунтових основ енергетичних об’єктів” (№ ДР 0107U004173); “Математичне та комп’ютерне моделювання фізико-хімічних процесів підземної гідромеханіки під впливом природних, техногенних і соціальних факторів” (№ ДР 0110U000816); “Математичне і комп’ютерне моделювання нелінійних фізико-хімічних процесів гідромеханіки в багатокомпонентних середовищах пористої та нанопористої структури” (№ ДР 0113U004052). У рамках виконання цих науково-дослідних робіт здобувачем отримано всі результати, які становлять наукову новизну дисертаційного дослідження.

Зміст дисертації належним чином відображає мету роботи та основні поставлені завдання досліджень для досягнення цієї мети.

### **Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій.**

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, визначається відповідністю їх сучасним теоретичним уявленням про процеси ущільнення (набухання) та фільтраційного руйнування в багатофазних і багатокомпонентних пористих середовищах, про процеси тепломасоперенесення в них (середовищах), а також якісним та кількісним співпаданням з даними натурних експериментів. Зокрема, при побудові нової математичної моделі взаємозв'язаних процесів теплосоперенесення та фізико-механічних процесів у ґрунтах автор використав апробовані підходи нерівноважної термодинаміки, механіки суцільного середовища і механіки насичених пористих середовищ. При обґрунтуванні відповідних рівнянь та кінематичних граничних умов використано закони збереження. Запропоновані і використані дисертантом закони розмиву, узагальнення закону Дарсі-Герсеванова, залежності параметрів фільтрації від температури, концентрації солей, напорів є обґрунтованими згідно відомих натурних експериментів.

Обґрунтованість наукових положень, результатів та висновків дисертації забезпечується також їх апробацією на наукових конференціях, симпозіумах і семінарах, опублікуванням 2 монографій, 22 статей у наукових фахових виданнях з технічних наук, а також у таких відомих журналах, як «Математическое моделирование» та «Journal of Mathematical Science».

**Наукова новизна** одержаних в роботі результатів полягає в наступному:

1. Розв'язано важливу нову науково-технічну проблему математичного моделювання взаємозв'язаних фізико-хімічних та техногенних процесів фільтраційної консолідації, тепломасоперенесення, фільтраційного руйнування (більш детально - контактного розмиву), наявності зосереджених шляхів фільтрації та контактної багатofракційної суфозії, явищ просідань в гетерогенних пористих середовищах (ґрунтах).

2. Вивчено комплексний вплив теплового та хімічного факторів для пористого середовища на його напружено-деформований стан в процесі консолідації.

3. Вперше побудовано математичну модель фільтраційної консолідації ґрунту з урахуванням можливості його фільтраційного руйнування – наявності та поширення зони контактного розмиву, наявності зосереджених шляхів фільтрації, можливості багатofракційної контактної суфозії, а також з урахуванням впливу тепломасопереносу.

4. Удосконалено закон Дарсі-Герсеванова руху рідин в деформівних пористих середовищах щодо комплексного урахування явищ термічного та

хімічного осмосів, залежності параметрів фільтрації від теплового та сольового режимів ґрунту та нелінійної залежності коефіцієнта фільтрації від функції надлишкових напорів

5. Вперше створено математичну модель консолідації ґрунтів насичених сольовими розчинами з урахуванням динаміки рухомих меж масивів. Виведено кінематичну граничну умову на рухомій межі контактного розмиву ґрунту фільтраційним потоком.

6. В дисертаційній роботі досліджені процеси фільтраційної консолідації ґрунтів з тонкими напівпроникними включеннями (включення із природних ґрунтів, які мають властивості напівпроникних мембран), як розвиток математичного моделювання в неоднорідних середовищах. Запропоновано в умову спряження неідеального контакту для концентрації порового сольового розчину на даному включенні внести «поправочний» коефіцієнт, який з фізичної точки зору означає ступінь ідеальності напівпроникного включення.

7. Вперше в математичних моделях фільтраційної консолідації неоднорідних ґрунтів враховано явище контактної багатofракційної суфозії.

#### **Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.**

Достовірність отриманих автором результатів, висновків і рекомендацій забезпечується застосуванням сучасних методів математичного моделювання та числових методів математичної фізики, фізичною і математичною коректністю постановок крайових задач, несуперечністю одержаних результатів відомим результатам, а також їх кількісною та якісною відповідністю даним деяких фізичних експериментів, що підтверджує адекватність запропонованих математичних моделей досліджуваним процесам.

#### **Важливість для науки одержаних автором дисертації результатів.**

Дисертаційна робота стосується розробки та розвитку теорії математичного моделювання реальних явищ та процесів – фільтраційної консолідації та фільтраційного руйнування ґрунтів в умовах впливу змінних теплових та хімічних полів. Враховано топологічну складність ґрунту як системи. Отримані результати знайдуть своє застосування в подальших дослідженнях з даного напрямку. В роботі адаптовано та модифіковано безсітковий метод радіальних базисних функцій стосовно нелінійних крайових задач для систем диференціальних рівнянь в частинних похідних і показана його ефективність, якщо: 1) задача є нелінійною для системи диференціальних рівнянь з частинними похідними; 2) задача досліджується в області з рухомими межами; 3) задача є просторовою.

**Практична цінність** отриманих у роботі результатів підтверджена актами про їхнє впровадження фірмою «АКВА-U», колективним членом Міжнародної академії наук екології та безпеки життєдіяльності (МАНЕБ) асоційованої при ООН, а також при проектуванні каналізаційної насосної

станції з вбудованим блоком біологічного очищення стічних вод бази відпочинку «Феміда» (с.м.т. Затока) Національного університету «Одеська юридична академія».

Результати дисертаційної роботи доцільно використати для оцінки просідань ґрунтів під впливом зовнішніх навантажень в умовах впливу техногенних факторів, а також для прогнозування можливості та величини зон розмиву під час проектування та експлуатації гідротехнічних споруд.

Автореферат адекватно відповідає змісту дисертації та оформлений згідно з вимогами ВАК України. Результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані у 71 науковій праці, у тому числі і у відомих світових журналах з математичного моделювання.

До результатів докторської дисертації не включено наукові положення і дослідження за якими захищена кандидатська дисертація.

### **Зауваження до дисертаційної роботи.**

1. В кінематичній граничній умові на верхній рухомій межі ґрунтового масиву, що перебуває в нестабілізованому стані, враховано лише вертикальні просідання. Оскільки в загальному випадку компоненти зміщень можуть містити не лише вертикальну складову, то в роботі варто було б дати обґрунтування коректності врахування в моделі лише вертикальних зміщень.
2. В дисертації побудовано математичну модель фільтраційної консолідації ґрунтів, що містять тонкі напівпроникні включення і на рівні чисельних експериментів та прогнозних розрахунків досліджена лише одновимірна задача. Зауважимо, що з точки зору інженерних застосувань було б цікавим та корисним дослідити вплив положення напівпроникного включення і його форми на динаміку консолідаційного процесу в двовимірному та тривимірному випадках. На жаль цього в роботі не зроблено.
3. Здобувачем побудовано математичні моделі сумісних процесів консолідації та фільтраційного руйнування ґрунтів і наведено прогнозні розрахунки про розмив основ гідротехнічних споруд, проте на практиці більш цікавим є питання про стійкість споруди в цілому. Це питання слід було б опрацювати в дисертації.
4. Хімічний склад порової рідини в природних ґрунтах, як відомо, є багатокомпонентним. І хоча проведені дисертантом дослідження дозволяють вивчити випадок багатокомпонентного порового розчину, однак в роботі цього не зроблено.
5. В дисертаційній роботі недостатньо уваги приділено теоретичному обґрунтуванню використаних чисельних алгоритмів наближеного розв'язання

нелінійних крайових задач, зокрема, встановленню оцінок збіжності застосованих ітераційних процедур, визначенню апріорних оцінок похибок, обґрунтуванню коректності методу радіальних базисних функцій.

Вказані вище зауваження суттєво не знижують загальної *позитивної оцінки* дисертації та її *високої якості в цілому*.

### **Висновок про відповідність дисертації вимогам ВАК України.**

Подана до захисту дисертація є оригінальним і завершеним науковим дослідженням, в якому важлива науково-прикладна проблема математичного моделювання взаємопов'язаних процесів фільтраційної консолідації та фільтраційного руйнування ґрунтів розглянута в новій неklasичній постановці, що пов'язана зі зміною сольового та термічного режимів пористого середовища. В цілому вирішено актуальну науково-технічну проблему математичного моделювання і прогнозування динаміки взаємозв'язаних фізико-хімічних та техногенних процесів фільтраційної консолідації, тепломасоперенесення, фільтраційного руйнування, контактної суфозії та явищ просідань в гетерогенних ґрунтових основах, зокрема, гідротехнічних та гідроенергетичних об'єктів.

Результати роботи є новими та достатньо апробованими. Аналіз публікацій дисертанта показує, що основні результати дисертації отримано автором самостійно. Автореферат адекватно відображає зміст роботи.

За актуальністю теми, рівнем та обсягом виконаних досліджень, науковою новизною та практичним значенням отриманих результатів дисертаційна робота “Математичне моделювання консолідації ґрунтів з урахуванням техногенного впливу та комплексу фізико-хімічних процесів” повністю відповідає вимогам щодо докторських дисертацій п.10, п.12, п.13 і п.14 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567, а її автор *Мартинюк Петро Миколайович* заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент,  
доктор технічних наук, професор,  
провідний науковий співробітник  
Інституту кібернетики  
ім. В. М. Глушкова НАН України

В. М. Булавацький

“ \_\_\_\_\_ ” 2015