

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу Сафоника Андрія Петровича

“Моделювання нелінійно-збурених керованих процесів очищення рідин від багатокомпонентних забруднень”,

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

Актуальність теми дослідження

Процеси очищення рідин шляхом фільтрування від багатокомпонентних сумішей широко поширені в багатьох галузях промисловості, причому очищення через пористі середовища є одним з найбільш складних технологічних процесів. Складність математичного опису таких процесів зумовлена багатьма факторами: домішки відрізняються за геометрією і своїми фізико-хімічними властивостями, вони можуть взаємодіяти між собою і перетворюватися з одного виду в інший, захоплення домішкових частинок фільтром (і відрив частинок осаду) залежить, зокрема, від швидкості течії та реагентів, які прискорюють або сповільнюють їх агрегацію. Побудова математичних моделей та отримання розв'язків нелінійних крайових задач масопереносу для багатокомпонентних рідких сумішей є необхідними та важливими, беручи до уваги той факт, що перевірка основних теоретичних принципів за допомогою фізичних експериментів, зазвичай, є утрудненою через їхню високу вартість та вплив сторонніх ефектів. Тому *актуальність теми дисертації*, спрямованої на покращення якості та підвищення інтенсивності механізмів очистки води шляхом математичного моделювання процесів очищення рідин від багатокомпонентних забруднень через пористі середовища з урахуванням автоматизованого керування та ідентифікації параметрів, не викликає сумніву.

Підтвердженням актуальності теми дисертаційної роботи є і той факт, що вона виконана у відповідності з планами держбюджетних науково-дослідних робіт кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету водного господарства та природокористування (НУВГП) та кафедри інформатики та прикладної математики Рівненського державного гуманітарного університету (РДГУ).

Тематика дисертаційної роботи відповідає:

пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки на період до 2020 року:

- 1) фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави;
- 2) інформаційні та комунікаційні технології відповідно до Закону України “Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки” від 11.07.2001 р. № 2623-III.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, їх достовірність

Адекватність розроблених у роботі математичних моделей відповідним процесам фільтрування підтверджена відповідністю результатів числових і фізичних експериментів, що проводились у спеціалізованих лабораторіях НУВГП, а також збігом з результатами окремих натурних спостережень реальних об’єктів фільтрування.

Достовірність одержаних в дисертації результатів і висновків забезпечується математичною строгістю формулювань задач з використанням основних положень теорії регулярних і сингулярних збурень та застосуванням апробованих аналітичних та числових методів, а також порівнянням результатів обчислень, одержаних різними методами, зокрема, у простіших випадках, з точними розв’язками.

Новизна наукових положень дисертаційного дослідження

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-прикладну проблему розвинення теорії математичного моделювання нелінійних технологічних процесів очищення рідин від багатокomпонентних забруднень з урахуванням автоматизованого керування та ідентифікації параметрів при домінуванні одних компонент процесу над іншими, а також розвинення методів розв’язання відповідних нелінійно-збурених задач, що націлено на покращення якості та підвищення інтенсивності механізмів очистки води.

У процесі вирішення цієї проблеми отримано такі нові наукові результати:

1. Вперше розроблено математичну модель процесу очищення рідин від багатокомпонентного забруднення для випадку домінування одних складових процесу над іншими, яка відрізняється від існуючих врахуванням зворотного впливу характеристик процесу (концентрації забруднення рідини та осаду) на характеристики середовища (коефіцієнти пористості, фільтрації, дифузії, масообміну тощо), на прикладі очищення рідини від багатокомпонентних домішок у механічних, магнітних і біологічних фільтрах, запропоновано новий підхід в теоретичному обґрунтуванні прояснення води в шарі завислого осаду, що дозволяє використовувати для розрахунків теорію збурення, знизити їх обчислювальну складність, а також провести верифікацію моделі.
2. Вперше побудовано математичну модель процесу аеробного очищення стічних вод, що враховує взаємодію бактерій, органічної і біологічно неокисної речовин та узагальнено на процес очищення води у фільтрі-освітлювачі з урахуванням впливу дози реагенту та незворотної коагуляції домішкових частинок, а також запропоновано просторове узагальнення відповідної математичної моделі біологічного очищення, що дозволяє розраховувати потрібні параметри процесу очищення та оцінити точність отриманих розрахунків відповідно до результатів експериментальних досліджень.
3. Вперше побудовано математичну модель процесу магнітного осадження домішок в одно-, дво- та n -шаровому фільтрі, яка описує закономірності фільтрування й нагромадження домішок у пористій засипці, та узагальнено на процес магнітного осадження домішок в зернистому фільтруючому матеріалі з урахуванням напруженості магнітного поля, зворотного впливу характеристик процесу (концентрації осаду) на технологічні параметри, зокрема, на пористість, напруженість магнітного поля, коефіцієнт відриву від гранул фільтруючого матеріалу частинок домішок, коефіцієнт фільтрації, що забезпечує прийнятну точність розрахунків для реальних технологічних процесів очищення.
4. Вперше одержано асимптотичні та числово-асимптотичні розклади нелінійно-збурених модельних задач процесів очищення рідин від

багатокомпонентного забруднення (для одновимірного та просторового випадків), що дозволило розширити клас розв'язуваних задач і врахувати форму фільтра.

5. На основі розроблених математичних моделей процесів магнітного, біологічного та механічного очищення рідин від багатокомпонентних забруднень розроблено автоматизовану систему керування відповідними процесами.

Наукове та практичне значення отриманих результатів та можливі шляхи використання результатів дослідження

Отримані теоретичні результати та розроблені числові методи є основою для розв'язання низки прикладних задач, а саме:

- визначення за допомогою комп'ютерного моделювання параметрів процесу фільтрування, зокрема, часу захисної дії та регенерації фільтра для забезпечення ефективного режиму його роботи, що зменшить затрати на виробництво очисних систем та надасть економію фільтруючих матеріалів;
- розроблення системи автоматизації процесу очищення рідини від багатокомпонентного забруднення, що підвищить продуктивність роботи очисних споруд.

Отримані у роботі математичні моделі та числово-асимптотичні методи розв'язування нелінійних сингулярно збурених крайових задач процесів фільтрування, алгоритми та графіки використовуються при читанні низки курсів на кафедрі автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій НУВГП та кафедрі інформатики та прикладної математики РДГУ, у науково-дослідних лабораторіях вказаних вузів.

Створений апаратно-програмний комплекс реалізує розроблені в роботі методики очищення технологічних водних середовищ від багатокомпонентних домішок різного типу (у механічних, магнітних і біологічних фільтрах), що підтверджено актами використання.

Оцінка змісту дисертації

Дисертація складається із вступу, шести розділів, висновку, списку літератури та додатків.

Другий розділ присвячено побудові математичних моделей процесів очищення рідин від багатокомпонентного забруднення у пористих середовищах з урахуванням зворотних впливів (концентрації забруднення та осаду) на характеристики середовища (коефіцієнти пористості, фільтрації, дифузії, масообміну тощо), а також узагальнено відповідних моделей на дво- та багат шарові фільтри.

У третьому розділі розроблено математичні моделі процесів біологічної очистки рідини від багатокомпонентного забруднення, зокрема моделюванню процесу прояснення стічної води у прояснювачі та її аеробного очищення в пористому середовищі, побудовано числово-асимптотичне наближення розв'язків просторових модельних задач вказаних процесів та здійснено їх комп'ютерне моделювання у регенераторі аеротенка.

Четвертий розділ присвячено питанням побудови математичних моделей процесів очищення рідин від багатокомпонентного забруднення магнітними фільтрами (осаджувачами) та аналізу вказаних процесів на основі розроблених моделей, зокрема, враховано зворотний вплив характеристик процесу (концентрації забруднення рідини та осаду) на характеристики середовища (коефіцієнти пористості, фільтрації, масообміну тощо), досліджено залежність процесу очищення від швидкості, тиску тощо.

У п'ятому розділі розглянуто процес очищення рідини від багатокомпонентного забруднення в припущенні домінування одних його складових над іншими, а також розв'язано обернені задачі знаходження невідомих коефіцієнтів з метою ідентифікації параметрів процесу очищення.

У шостому розділі здійснено комп'ютерне моделювання та автоматизацію процесу очищення рідин, побудовано системи автоматизованого контролю над процесами очищення води та регенерації фільтра; розроблено автоматизовані системи магнітної та біологічної очистки води. Відзначено, що впровадження цих систем дозволить замінити ручний режим експлуатації автоматизованим контролем на водоочисних станціях та промислових очисних системах (що вже частково зроблено).

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, яка за структурою, мовою та стилем написання відповідає вимогам ДАК МОН України.

Висновок про повноту опублікування основних положень дисертації, аналіз автореферату

За основними матеріалами роботи опубліковано 65 наукових праць, у тому числі: 1 монографія у співавторстві, 30 статей у фахових наукових виданнях з технічних наук, 5 статей опубліковано у закордонних журналах, які внесені у міжнародні наукометричні бази, 11 праць опубліковано без співавторів, отримано 1 патент на корисну модель.

Матеріали дисертації пройшли достатню апробацію, вони доповідались автором на наукових конференціях та семінарах. Автореферат правильно і з достатньою повнотою відображає основний зміст дисертації. Дисертаційна робота та автореферат написані державною мовою, оформлені у відповідності до вимог МОН України. Виклад матеріалу дисертації супроводжується всіма необхідними посиланнями в тексті роботи на першоджерела та запозичення з праць інших дослідників. Дисертація та автореферат викладені українською мовою, грамотно, чітко, послідовно, на високому професійному рівні. Основні наукові, практичні положення і результати коректно та логічно сформульовано і представлено у зрозумілій формі.

Наукові положення та результати, які виносилися на захист кандидатської дисертації "Моделювання нелінійних процесів фільтрування з урахуванням зворотних впливів та дифузійно-масообмінних збурень" (2010 рік) за спеціальністю 01.05.02 – "математичне моделювання та обчислювальні методи", не використовуються в поданій докторській дисертації.

По дисертаційній роботі слід зробити такі **зауваження**:

1. У підрозділах 1.1.1 та 1.1.2 описано значну кількість математичних моделей, однак незрозуміло, який стосунок всі вони (за винятком моделі Мінца) мають до розроблених в дисертації. Аналогічне запитання виникає щодо перерахованих у підрозділі 2.1.1 різних асимптотичних методів.
2. Здобувач відзначив, що підрозділ 2.2 є узагальненням попереднього, однак присутній у другому рівнянні моделі (2.6) останній доданок не має аналога у моделі (2.1). Незрозуміло, навіщо в другому розділі наведено систему (2.12), (2.13), оскільки числові експерименти стосуються лише попередніх моделей.

3. З тексту дисертації неясно, як врахування зворотного впливу на фільтраційні компоненти у математичних моделях процесу фільтрування багатоконпонентних стічних вод підвищує їх достовірність, оскільки нема порівняння з моделями без такого врахування.
4. Неясно, чому розроблена у підрозділі 3.1 математична модель процесу прояснення стічної води у прояснювачі базується на теорії Мінца, коли у третьому пункті попереднього розділу підкреслено переваги пропонованого підходу порівняно з моделлю Мінца. Нічим не обґрунтовано вибір функції $\Phi(x)$ у вигляді експоненціальної залежності та не пояснено її фізичний зміст при побудові моделі. Підрозділ 3.4 дещо випадає з загальної структури дисертації.
5. Виклад матеріалу дисертації проведено за принципом «від простішого до складнішого» (від одновимірних фільтрів до просторових), що дозволяє краще зрозуміти основні ідеї запропонованого підходу та його реалізацію, однак здобувач не уникнув при цьому повторів деякого матеріалу (наприклад, на с. 96 і с. 83) і неповністю апробував просторові моделі (більшість графічних матеріалів стосується одновимірних фільтрів). Незрозуміло, чим відрізняються числові експерименти, описані у підрозділах 3.2 та 3.3 (аналогічно в 4.2 та 4.3).
6. В останніх розділах (п'ятому та шостому) варто було б зробити посилання на розроблені в попередніх розділах моделі, а не наводити їх знову, тим більше виносити у висновки пункти про розробку моделей.
7. Окрім цього, робота має деякі стилістичні та орфографічні огріхи, що утруднюють послідовне сприйняття матеріалу, зокрема, відсутній опис рис. 5.8-5.11, використано позначення однієї змінної для різних величин (наприклад, P для тиску і концентрації пластівців), не описано деякі використані змінні (с. 83, 86) та використано кириличні символи у формулі (с. 81), погано сформульовано п. 2 у висновках до 2-го розділу.

Однак вищенаведені зауваження не ставлять під сумнів значимість головних положень роботи і не знижують загальної позитивної оцінки дисертації.

Загальний висновок

У дисертаційній роботі Сафоника А.П. вирішена важлива науково-прикладна проблема розвинення теорії математичного моделювання нелінійних технологічних процесів очищення рідин від багатокomпонентних забруднень з урахуванням автоматизованого керування та ідентифікації параметрів при домінуванні одних компонент процесу над іншими та методології розв'язання відповідних нелінійно-збурених задач, що в сукупності націлено на покращення якості та підвищення інтенсивності механізмів очистки води.

Дисертаційна робота Сафоника А.П. на тему “Моделювання нелінійно-збурених керованих процесів очищення рідин від багатокomпонентних забруднень”, подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи, відповідає вимогам “Порядку присудження наукових ступенів”, а здобувач заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук,
старший науковий співробітник,
старший науковий співробітник відділу
геоелектромагнітних методів
Карпатського відділення Інституту геофізики
ім. С.І.Субботіна НАН України, м. Львів

“15”_червня_2016 р.



Л.М. Журавчак

Підпис Л.М. Журавчак засвідчую

Директор Карпатського відділення
Інституту геофізики ім. С.І.Субботіна НАН України
д.ф.-м. н., проф.




В.Ю. Максимчук