67-72-39/2
19.04.17р.

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію **Сухацького Юрія Вікторовича** **"Гідродинамічний кавітатор для кавітаційно-флотаційного розділення водних гетерогенних середовищ"**,

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології

Актуальність роботи. Дисертаційна робота Сухацького Ю.В. присвячена розробленню ефективного кавітаційного обладнання для розділення водних гетерогенних середовищ, що утворюються у чисельних технологічних процесах.

Обсяги утворення водних гетерогенних середовищ як в Україні, так і в світі, надзвичайно великі. Завислі частинки дисперсної фази таких середовищ (стічних вод різноманітних промислових підприємств, шахтних вод, шламів галургійної галузі, вуглезбагачення, нафтоперероблення, технологічних суспензій та емульсій тощо) зумовлюють каламутність, кольоровість, унеможливлюють застосування водних середовищ у системах оборотного водопостачання. Технологічні процеси розділення водних гетерогенних середовищ з використанням традиційного громіздкого обладнання (відстійників, гідроциклонів, флотаторів тощо) є енергоємними та довготривалими, а також супроводжуються втратою цінних компонентів сировини і можуть призводити до забруднення довкілля.

Тому для реалізації ефективного, гнучкого та енергоощадного процесу розділення водних гетерогенних середовищ, безумовно, необхідне створення нового обладнання, принцип роботи якого ґрунтуватиметься на концепції синтезу процесів кавітаційного оброблення цих середовищ та флотаційного відділення частинок дисперсної фази. Зважаючи на вищезазначене, жодних сумнівів щодо актуальності дисертаційної роботи Сухацького Ю.В. не виникає.

Актуальність теми підтверджується тим, що дослідження виконано згідно з науковим напрямом кафедри хімії і технології неорганічних речовин Національного університету "Львівська політехніка" та в межах держбюджетних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України (номер державної реєстрації 0114U001698).

Наукова новизна отриманих здобувачем результатів. Наукова новизна результатів полягає в тому, що вперше запропоновано і обґрунтовано застосування кавітаційно-флотаційного процесу для розділення водних гетерогенних середовищ. Визначено закономірності та кількісні залежності величини теплової енергії, що виділяється внаслідок кавітації, від

технологічного (тиск на вході у кавітатор) та конструктивних (діаметр сопла, кількість сопел, кут атаки струменів) параметрів гідродинамічного струменевого кавітатора (ГДСК). Також встановлено закономірності та отримано кількісні залежності параметрів сформованих кавітаційних полів (резонансної частоти коливань бульбашок, їх радіуса) від параметрів роботи ультразвукового магнітострикційного випромінювача та ГДСК.

Необхідно зазначити, що набуло подальшого розвитку дослідження структури кавітаційних полів, збуджених різними способами, методом сонохімічного аналізу.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі. Наукові положення сформульовані достатньо аргументовано. Обґрунтованість та достовірність наукових результатів підтверджується глибоким критичним аналізом джерел інформації, великим обсягом експериментального матеріалу, його комп'ютерним обробленням та належною інтерпретацією, відповідністю результатів моделювання експериментальним результатам, узгодженням результатів калориметрії з результатами методу сонохімічного аналізу розвитку кавітаційних полів, а також коректним використанням сучасних методів досліджень: сонохімічного аналізу, редокс- і pH-потенціометрії, об'ємного аналізу. Основні положення та висновки дисертаційної роботи обговорені на авторитетних наукових конференціях.

Висновки дисертації є ґрунтовними і базуються на результатах, отриманих здобувачем особисто, показують наукову новизну і практичне значення роботи.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи полягає у розробленні конструкції суміщеного кавітаційно-флотаційного апарата (СКФА), яка дає змогу впливати на ефективність флотаційного вилучення дисперсних частинок цілеспрямованим регулюванням інтенсивності розвитку кавітаційних явищ за зміни технологічного (тиску на вході у кавітатор) та конструктивних (розміру кавітувальних елементів, їх кількості та просторового розміщення) параметрів ГДСК.

Встановлені кількісні закономірності процесу кавітаційно-флотаційного розділення можуть бути використані під час розділення суспензій, що утворюються у процесах очищення газових викидів на підприємстві ПАТ "Сумихімпром", а також для інтенсифікації процесів розчинення важкорозчинних мінералів калійних руд та відділення нерозчинного залишку від рідкої фази на ЗАТ "Карпатнафтохім". Високу ефективність розробленого процесу кавітаційно-флотаційного розділення водних гетерогенних середовищ із застосуванням СКФА підтверджено результатами випробувань у

Корпорації "Енергоресурс-Інвест" (м. Львів).

Теоретичні, технологічні положення, кількісні закономірності, математичні моделі, схеми процесів, наведені у дисертаційній роботі, впроваджені у навчальний процес і використовуються під час викладання дисциплін "Процеси та апарати хімічних виробництв", "Застосування якісно нових процесів у хімічній технології неорганічних речовин".

Повнота викладення результатів в опублікованих матеріалах цілком відповідає вимогам до кандидатських дисертацій: 26 друкованих праць, з них 6 статей у наукових фахових виданнях України (у тому числі 1 стаття у виданні України, яке включене до міжнародної наукометричної бази даних Scopus) та тези 20 доповідей на наукових конференціях; 2 патенти України на корисну модель. У цих роботах повністю відображено основні результати дисертації. Особистий внесок здобувача у сумісних публікаціях є підтвердженим.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота за обсягом та структурою відповідає існуючим вимогам. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку джерел інформації (290 найменувань) та додатків. Основна частина роботи викладена на 150-ти сторінках.

У ***вступі*** визначено мету та сформульовано завдання, які необхідно вирішити для її досягнення.

Перший розділ присвячений критичному аналізу джерел інформації, пов'язаних із тематикою дисертації. Наведено переваги флотаційних методів розділення. Наголошено на доцільності застосування кавітаційних явищ для цілеспрямованої зміни властивостей компонентів водних гетерогенних середовищ (дисперсної фази та дисперсійного середовища). Розглянуто застосування кавітації для інтенсифікації різноманітних технологічних процесів, принципи роботи та конструктивні особливості основних типів генераторів кавітації. Показано, що поєднання традиційних фізико-хімічних методів розділення із комплексними енергетичними впливами, зокрема кавітацією, дає змогу інтенсифікувати процеси тепло- і масообміну та збільшити швидкість хімічної взаємодії, а суміщення послідовних стадій кавітації і флотації в одному апараті забезпечить ефективне використання генерованих кавітаційних бульбашок для флотаційного відділення дисперсної фази від водних середовищ.

У ***другому розділі*** наведено опис лабораторних установок, методики виконання експериментальних досліджень, характеристику методів оцінювання інтенсивності розвитку кавітаційних явищ у генераторах різних типів, особливості статистичного оцінювання достовірності отриманих рівнянь регресії.

Третій розділ присвячений аналізу результатів досліджень розвитку кавітаційних полів у генераторах різних типів (ультразвуковому магнітострикційному та ГДСК).

На основі енергетичних поверхонь, що відображають вплив технологічного (тиск на вході у кавітатор) і конструктивних (діаметр сопла, кількість сопел, кут атаки струменів) параметрів ГДСК на величину виділеної внаслідок кавітації теплової енергії, побудовано 4-факторну мультиплікативну статистичну модель конструкції ГДСК. Аналіз графічної інтерпретації цієї моделі дав змогу визначити оптимальні умови кавітаційного оброблення водних середовищ, за яких величина виділеної теплової енергії є максимальною.

Заслуговують на увагу дослідження розвитку кавітаційних полів у генераторах різних типів (ультразвуковому магнітострикційному та ГДСК) методом сонохімічного аналізу. На основі аналізу результатів сонохімічних досліджень (осцилограм акустичного сигналу кавітаційних полів, спектрів частот та інтенсивностей), представлених з використанням комп'ютерної програми Adobe Audition 1.5, встановлено структуру кавітаційних полів, сформованих у ГДСК, та дисперсність бульбашок флотаційного шару. Необхідно наголосити, що результати калориметричного методу дослідження кавітаційних явищ узгоджуються з результатами методу сонохімічного аналізу.

Показано, що для інтенсифікації кавітації та супутнього їй ефекту флотації дисперсних частинок доцільно вводити у водні середовища перед кавітатором повітря (об'ємна витрата повітря – $(1{,}5\ldots9)\cdot10^{-6}$ м^3/с), що виконує роль зародків кавітації.

Наведено результати генерування у кавітаційних полях сполук окисного характеру (кисню, гідрогену пероксиду), що мають важливе значення під час очищення водних середовищ від дисперсних частинок органічної природи, як за рахунок їх флотаційного відділення, так і окиснення.

Виконані електрокінетичні дослідження дали змогу встановити оптимальну для флотаційного розділення водних гетерогенних середовищ тривалість їх кавітаційного оброблення.

У ***четвертому розділі*** наведено результати апробації розробленого кавітаційно-флотаційного процесу під час: збагачення сірчаної руди; розділення суспензії, що утворюється під час регенерації відпрацьованого поглинального розчину у виробництві пігментного титану(IV) оксиду; розчинення лангбейнітової руди та флотації нерозчинного залишку; флотації нерозчинного залишку з Домбровського кар'єру; розділення суспензії каоліну;

очищення рідких відходів шкіряних виробництв від дисперсних частинок натрію оксалату.

У ***п'ятому розділі*** наведено принципову схему конструкції ГДСК, а також технологічні схеми процесів: кавітаційно-флотаційного збагачення сірчаної руди; кавітаційно-флотаційного розділення суспензії, що утворюється під час регенерації відпрацьованого поглинального розчину у виробництві пігментного титану(IV) оксиду; розчинення лангбейнітової руди та флотації нерозчинного залишку.

Позитивною особливістю розробленої конструкції ГДСК є можливість управління ефективністю кавітаційного оброблення безпосередньо під час здійснення певного технологічного процесу, що забезпечує його безперервність і гнучкість. Це стало можливим завдяки введенню нових елементів: гідрофона, мікропроцесора, реверсивного двигуна, шарнірного та зворотно-поступального механізмів.

Результати техніко-економічного оцінювання двох різновидів процесу флотаційного збагачення сірчаної руди (кавітаційної та пневматичної флотації) свідчать про економічну ефективність розробленого процесу кавітаційно-флотаційного збагачення сірчаної руди.

У ***загальних висновках*** викладено основні наукові результати роботи, що відображають шляхи вирішення поставлених завдань та досягнення мети роботи.

Аналіз змісту дисертації Сухацького Юрія Вікторовича дає змогу оцінити її як **завершену наукову працю**, результати якої мають достовірну науково-технічну інформацію щодо процесу кавітаційно-флотаційного розділення водних гетерогенних середовищ. Оформлення роботи відповідає вимогам основних положень Департаменту атестації кадрів вищої кваліфікації та ліцензування Міністерства освіти і науки України.

Автореферат дисертації здобувача передає зміст основних наукових положень, практичне значення та висновки роботи.

Зауваження до дисертації:

1. При порівняльному аналізі процесів розділення дисперсних систем варто було б навести дані по питомій витраті енергії при застосуванні того чи іншого процесу.

2. У дисертації сказано, що величина питомої потужності для УЗ-випромінювача та ГДСК є однаковою і становить ~ $63 \cdot 10^3$ Вт/м^3. Але потужність УЗ-випромінювача змінювали в діапазоні 8,0-12,5 Вт, а потужність приводу насоса кавітатора від 0,3 до 0,57 кВт. Тому необхідно було порівняти питому потужність для обох пристроїв у вказаному діапазоні.

3. Розмір бульбашок, що утворюються внаслідок кавітації, дисертант визначав лише методом сонохімічного аналізу. Оскільки у кавітаторі існує складна система процесів утворення, коалесценції й руйнування бульбашок різних поколінь, кожен з яких супроводжується генеруванням звуків певної частоти, то необхідно було доповнити сонохімічний аналіз іншими, наприклад, оптичним.

4. У дисертації (с. 108) вказано, що в ГДСК спостерігали формування кавітаційної зони з радіусом бульбашок близько $1{,}87 \cdot 10^{-3}$ м. Але, як відомо, розміри кавітаційних бульбашок є на порядок або й два меншими. Тому, очевидно, що згадані бульбашки є продуктом агломерації первинних кавітаційних бульбашок.

5. Насичення води киснем і утворення внаслідок цього сполук окисного характеру залежить від температури. Під час здійснення кавітаційного оброблення води, яка циркулює в системі, температура, очевидно, буде зростати. У відповідному розділі дисертації не вказано, в яких умовах (адіабатичних чи ізотермічних) проводили ці дослідження. Тому у табл. 3.8 потрібно було навести значення температури у певні періоди процесу. Це дозволило б встановити роль температури на утворення, накопичення чи руйнування сполук-окисників, а також визначити раціональний температурний режим кавітаційного оброблення водних середовищ.

6. Дисперсні частинки, які рухаються з високою швидкістю у соплі кавітатора, з часом можуть привести до його руйнування внаслідок ерозії та корозії. З тексту дисертації не зрозуміло, які заходи пропонує дисертант для усунення або хоча б послаблення цих негативних процесів.

7. У тексті дисертації зазначено, що під час здійснення процесу кавітаційної флотації відбувається подрібнення твердих частинок. Зрозуміло, що це буде впливати на процес флотації. Але в тексті дисертації не наведено даних, за якими можна було б оцінити ступінь диспергування твердих частинок різної природи у зоні кавітації, і, як наслідок, підтвердити доцільність та ефективність розділення гетерогенних систем запропонованим способом.

Наведені зауваження та побажання носять рекомендаційний характер і не знижують наукової та практичної цінності дисертаційної роботи.

Висновок. Враховуючи актуальність теми дисертаційної роботи, наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, вважаю, що дисертаційна робота Сухацького Юрія Вікторовича "Гідродинамічний кавітатор для кавітаційно-флотаційного розділення водних гетерогенних середовищ" відповідає вимогам до кандидатських дисертацій,

зокрема пп. 9, 11, 12 “Порядку присудження наукових ступенів” щодо кандидатських дисертацій, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології.

Офіційний опонент,
професор кафедри обладнання і
технології харчових виробництв
ДВНЗ “Український державний
хіміко-технологічний університет”
доктор технічних наук, професор Єрмаков П.П.

Підпис Єрмакова П.П. засвідчую:
Учений секретар ДВНЗ УДХТУ Охтіна О.В.