

Відгук

офіційного опонента про дисертацію

Сухацького Юрія Вікторовича

"Гідродинамічний кавітатор для кавітаційно-флотаційного розділення водних гетерогенних середовищ",

представлену до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю

05.17.08 "Процеси й обладнання хімічної технології"

Загальна характеристика роботи

Ідея використання гідродинамічних кавітаційних пристроїв у хімічних виробництвах для інтенсифікації гідромеханічних і масообмінних процесів є не новою. Провідні заклади і фірми світу на цій основі розробили цілий ряд конструкцій пристроїв такого типу. Кавітаційні пристрої використовують у хімічній та хіміко-фармацевтичній промисловостях для інтенсифікації процесів диспергування, розмелу, перемішування, прискорення масообмінних процесів та хімічних реакцій. Отже тема дисертаційної роботи Сухацького Юрія Вікторовича, що присвячена розробці кавітаційного пристрою для кавітаційно-флотаційного розділення водних гетерогенних середовищ є на сьогодні актуальною.

Наукові дослідження, узагальнені в дисертаційній роботі, виконані відповідно до наукового напрямку кафедри хімії і технології неорганічних речовин Національного університету «Львівська політехніка» «Дослідження процесів комплексного перероблення сірчаної та калійної сировини, відходів кольорових і рідкісних металів з розробленням екологічно чистих, ресурсощадних технологій мінеральних добрив, солей, спеціальних видів сірки, металів та їх сполук, металевих порошків та інших продуктів» відповідно до тематики, «Технології очищення висококонцентрованих органічних стічних вод» (№ держреєстрації 0114U001698), в яких дисертант був виконавцем окремих етапів.

Основною метою роботи було розроблення обладнання для реалізації гнучкого, ефективного та енергоощадного процесу кавітаційно-флотаційного

розділення водних гетерогенних середовищ від дисперсних частинок.

Наукова новизна. Автором вперше запропоновано комплексний метод флотаційного розділення водних гетерогенних середовищ. У роботі встановлено залежності електрокінетичного потенціалу на межі розділу фаз “флотаційні бульбашки-частинки $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ” від тривалості обробки у запропонованому гідродинамічному пристрої за різних об’ємних витрат повітря. У першому наближенні встановлено залежність виділеної теплової енергії у запропонованій конструкції від технологічних і конструктивних параметрів.

Проте твердження, що набуло подальшого розвитку дослідження структури кавітаційної течії є не зовсім коректними та потребують уточнення й додаткових досліджень. Аналогічно слід відзначити і твердження автора щодо кількісних залежностей щодо “утворених”, як постулює автор, газів та характеристик парогазових бульбашок. Ці питання залишаються дискусійними.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробленні інженерно-технічних рішень щодо реалізації флотаційного розділення водних гетерогенних середовищ. Результати наукової роботи використовуються у навчальному процесі.

У роботі та авторефераті наведені відомості про особистий внесок здобувача при виконанні дисертаційної роботи, що свідчить про самостійність виконання роботи і одержання основних результатів теоретичних і експериментальних досліджень.

Аналіз роботи також засвідчує, що експериментальні дослідження виконані з використанням загальноприйнятих методик і обладнання.

Аналіз одержаних результатів, зроблені на їхній основі висновки, розроблені пропозиції виконані на основі положень фізики, хімії, математики, основ масообміну.

Апробація роботи. Основні результати і положення дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на наукових і міжнародних науково-практичних конференціях.

Публікації та автореферат. Результати дисертаційної роботи опубліковані в 26 наукових працях, у тому числі: 6 статей, серед яких 5 - у наукових фахових виданнях України, в т.ч. 1 стаття у виданні України, що

входить до міжнародної наукометричної бази даних Scopus, 2 патенти України на корисну модель та 20 доповідей на наукових конференціях.

Автореферат дисертації за викладом і змістом відповідає дисертаційній роботі і вимогам “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника”. Хоча деякі аспекти в авторефераті потребують пояснень, зокрема рис .7, рис. 8, табл. 1 і табл.2. та висновки щодо «резонансної» частоти для УЗ кавітації, параметрів кавітаційних бульбашок та хімічних процесів.

Аналіз змісту дисертаційної роботи

Вступ містить основні положення щодо актуальності, наукової новизни і практичного значення роботи.

У першому розділі проведено аналіз літературних джерел щодо загальних аспектів розділення дисперсних систем. Розглянуто деякі приклади застосування кавітаційних ефектів у промисловості. Наведено інформацію щодо кавітаційних пристроїв. Водночас незрозуміло яким чином процеси гомогенізування пов'язані з розділенням і для чого автор аналізує їх. Аналогічно щодо теплових генераторів.

Не зовсім зрозумілим є п. 4 висновків до цього розділу, з якого випливає, що не для всіх кавітаційних пристроїв гідродинамічного типу характерною є залежність ступені впливу конструктивних параметрів на систему. Не зрозуміло також, чому за умови суперкавітації неможлива ерозія поверхні?

В п.6 автор стверджує, що запропоновано комбінації кавітації з іншими методами, хоча далі пише лише про кавітаційно-флотаційний процес розділення.

П. 7 є сумнівним, оскільки на сьогодні в літературі представлено дуже велика кількість моделей з використанням чисельних методів, де автори розглядають питання в комплексі (Sou A., Maulana M., Taitel Y., Wang G., Merkle C.L., Маркина Н.Л та ін.)

Другий розділ присвячений опису установок та методик експериментальних досліджень. Автор наводить особливості конструкції лабораторного стенда та методи регулювання технологічних параметрів, зокрема тиску на вході в кавітаційний пристрій. Слід зазначити, що автор не наводить марку насоса, його технічні характеристики та геометричні особливості гідродинамічного пристрою, що є важливим для визначення характеристик кавітаційної ділянки. В розділі

автор також наводить методику сонохімічного аналізу та методики щодо дослідження на вміст у воді кисню, гідрогену пероксиду, концентрації сполук окисного характеру. Також представлені методики визначення седиментаційної стійкості дисперсних частинок, вмісту сірки у сірчаній руді та вмісту іонів магнію у пільпі лангбейнітової руди.

В третьому розділі розглядаються результати досліджень щодо фізико-хімічних процесів у воді, які ініціюються за умови кавітаційного режиму течії. Ефективність кавітаційної обробки води автор оцінює тепловою енергією, що дисипується в системі (в роботі постулюється "...виділяється внаслідок кавітації", що є не коректним). З наведених результатів спостерігається незначна залежність теплової енергії від кількості сопел та кутів атаки. Автор приводить залежність швидкості води в соплах від тиску на вході (рис. 3.2), але не коментує її. Далі характеризує режим течії в пристрої числом кавітації (рис. 3.3). Ця залежність є некоректною!

Дисертантом проведено статистичне моделювання за методом Брандона. Цей метод дає можливість оптимізувати конструкцію запропонованої моделі пристрою, але водночас є дуже обмеженою, оскільки результати моделювання не можливо застосувати до інших конструкцій.

Автор наводить результати досліджень кавітаційних явищ методом сонохімічного аналізу та розглядає особливості формування парогазової фази, зокрема її розміри в ультразвуковому, магнітострикційному та гідродинамічному пристроях. Автор наводить фото кавітаційної ділянки в ультразвуковому пристрої за якою досить складно судити не тільки про структуру кавітаційної ділянки але і про наявність кавітації!

Стосовно досліджень наведених у п. 3.3.1. необхідно зауважити, що автор наводить залежність «резонансної частоти» від потужності випромінювача. У даному випадку вислів є не коректним. Це частота коливань, а не «резонансна частота». Крім того, для того щоб спостерігати УЗ кавітацію необхідна частота від 18 кГц, а не 4, як приводить дисертант. Дисертант наводить осцилограми акустичного сигналу, сформованого у кавітаційному пристрої гідродинамічного типу, водночас фото-підтвердження наявності кавітації (рис. 3.21.) являє собою звичайну водо-газо-повітряну суміш і ніяк не засвідчує, що «... фотографічно

встановлено, що кавітаційна ділянка охоплює весь реакційний об'єм». Дисертантом отримана залежність теплової енергії від об'ємної витрати повітря, яке додатково вводиться в систему. На основі цієї залежності зроблено висновок щодо локального екстремуму, який відповідає об'ємній витраті повітря $6 \pm 0,75 \cdot 10^{-6}$ м³/с. Водночас слід зазначити, що відповідно до рис. 3.24 максимальне значення теплової енергії відповідає нульовій об'ємній витраті. Також є відомим, що якщо є певні умови для виникнення кавітаційного режиму і вони не змінюються, система герметична, та є всі умови для виникнення кавітації, то характерні явища не повинні згасати (с. 89).

Автор наводить результати щодо газів, які утворюються внаслідок хімічних перетворень. Відповідно до отриманих результатів за 1800 с спостерігається об'єм $0,9 \cdot 10^{-3}$ м³. Швидше за все це не хімічно утворені гази, а ті, що виділяються внаслідок дегазації, тому ці результати з точки зору оцінки газів, які утворюються внаслідок хімічних перетворень не є обґрунтованими. Не зрозуміло, в якому апараті і, за яких умов проводили ці дослідження. Необхідно також зауважити, що висновки щодо залежності наведеної на рис. 3.26 є необґрунтовані, якщо взяти до уваги швидкості процесів, які описує дисертант.

Для визначення сполук окисного характеру дисертант використовує два методи прямий – метод Вінклера і відносний з використанням киснеміра. Ці результати можуть лише у першому наближенні засвідчити присутність окисників. Водночас викликають сумніви результати щодо зростання суми цих сполук від 0 до 14,59 за 1800 с., а як же процеси рекомбінації?

В роботі наведено можливі хімічні реакції, які можуть відбуватись як у парогазовій фазі, так і у рідкій фазі та результати щодо накопичення гідрогену пероксиду у воді. Автор не наводить умов проведення досліджень, тому їх складно порівнювати, хоча як відомо за умови ультразвукової кавітації, як наводиться в літературі, концентрації H₂O₂ повинні бути вищі, ніж за умови гідродинамічної кавітації, на відміну від наведених даних на рис. 3.30. Можливо автор проводив дослідження при різних режимах.

У дослідженнях щодо електрокінетичних характеристик дисперсних частинок кальцію гідроксиду автор визначає раціональний час обробки у запропонованому пристрої гідродинамічного типу.

В кінці розділу наведено висновки. Не обґрунтованим є висновок 2, оскільки не зрозуміло як визначали розміри парогазової фази, не наведено фото підтвердження характерної гідродинаміки. П. 3 потребує дискусії, оскільки не відповідає рис. 3.24(максимум в нулі).

У четвертому розділі наведено результати процесів кавітаційно-флотаційного розділення водних гетерогенних середовищ, зокрема розділення пульпи під час збагачення сірчаної руди, суспензії, що утворюється при очищенні відхідних газів печей прожарювання пасти метатитанової кислоти від SO₂, водних гетерогенних середовищ, що містять дрібнодисперсні шламкові частинки. Дисертантом отримані позитивні результати щодо удосконалення процесів розчинення лангбейнітової руди та флотації нерозчинного залишку з Домбровського кар'єру. Запропоновано комплексні методи розділення суспензії каоліну та розділення рідких відходів легкої промисловості.

Водночас необхідно зазначити, що автор поверхнево описує умови за яких отримано такі результати, що ускладнює їх аналіз.

В кінці розділу наведено висновки, в яких дисертант узагальнив отримані результати. Водночас звертаю увагу на некоректну термінологію, зокрема, кавітаційна флотація. Можливо це флотація за умови попередньої кавітаційної обробки середовища?

У п'ятому розділі наведено принципову схему запропонованої конструкції кавітаційного пристрою, машино-апаратну схему для реалізації процесу збагачення сірчаної руди, розділення суспензії, що утворюється під час регенерації відпрацьованого розчину у виробництві пігментного титану (IV) оксиду, процесів розчинення лангбейнітової руди та флотації нерозчинного залишку. Дисертант також наводить техніко-економічний аналіз запропонованого процесу збагачення сірчаної руди. В кінці розділу наведено висновки до розділу.

У дисертації також наведено загальні висновки до роботи де узагальнено всі отримані дисертантом результати.

Список літературних джерел налічує 290 найменувань за тематикою роботи.

Мова та стиль роботи. Стиль і виклад роботи логічний, послідовний і відповідає вимогам до дисертацій і друкованих праць.

Зауваження по роботі:

1. Слід зазначити, що у огляді літератури дуже мало наведено інформації щодо обґрунтування кавітаційного методу впливу на процеси розділення, кавітаційні ефекти розглядаються досить поверхнево, не наведено фізичного представлення процесу відомих теоретичних закономірностей.
2. У другому розділі дисертації не наведено параметрів за яких виникає гідродинамічна кавітація (швидкість, тиск, геометричні параметри пристрою, фізико-хімічні властивості середовища). Не наведено характеристик насоса, що також дуже важливо.
3. У дисертації відсутнє фотопідтвердження початку кавітації, її трансформації та особливостей гідродинаміки, що ускладнює аналіз результатів.
4. Аналогічне зауваження стосується результатів щодо ультразвукової кавітації, для якої характерною є частота від 18 кГц, а в роботі максимальна 4 кГц (табл. 1 і 2 автореферату).
5. Автор помилково використовує термін «резонансна частота». Мова іде лише про частоту коливань. Не зрозуміло, для чого автор порівнює спектр частот, адже на кожній частоті інтенсивність буде різна.
6. Слід зауважити, що від тиску і температури резонансна частота не залежить. Для окремих досліджень можна було би змінювати напругу і можливо тоді спостерігати певні залежності та вплив окремих факторів таких як турбулізація потоку, наприклад. Отже це питання потребує дискусії.
7. Результати щодо порівняння параметрів парогазової фази, кількості генерованих хімічно активних сполук, зокрема рис. 3.30, рис. 4.2, та ін. складно оцінювати оскільки не чітко описані умови проведення досліджень, або відсутні взагалі.
8. У третьому розділі автор наводить залежність безрозмірного критерію Рейнольдса від числа кавітації. У зв'язку з цим необхідно зазначити, що відповідно до теоретичних основ гідродинаміки, кавітація – це гідродинамічний режим, який виникає при заданій формі гідравлічного каналу (дроселя) за деякого цілком певного для даного перетину потоку значення безрозмірного параметра, який прийнято називати критичним

числом кавітації. Цей параметр служить одним із критеріїв моделювання кавітації і безрозмірний критерій Рейнольдса не може залежати від нього, швидше навпаки. Якщо мова іде про флотатор, то на мою думку не зрозуміло, яка швидкість враховується при визначенні безрозмірного критерію Рейнольдса. Це досить складна і не зовсім зрозуміла задача.

9. Необхідно зазначити, що кінетична енергія струменів у запропонованому пристрої яка трансформується в теплову не є енергією, яка дискретно вводиться в систему як кавітаційна. Це різні речі. Це підтверджують наведені результати щодо впливу кількості сопел на величину теплової енергії.
- 10.3 інформації наведеної в дисертації не зрозуміло як визначали розміри парогазових бульбашок у пристроях гідродинамічного і УЗ типу.
11. У розділі 2.5. автор вживає недоречний термін «... об'єму газів, що виділяються внаслідок кавітації». Не зрозуміло, що має на увазі дисертант, оскільки при кавітаційному режимі течії рідини відбувається декілька процесів одночасно, зокрема: деаерація, розчинення і генерування газів внаслідок хімічних процесів.
12. Схеми взаємодії струмин є недоцільними в роботі, оскільки не несуть ніякого наукового чи практичного змісту.
13. З рис. 3.23 можна лише спостерігати ділянку на якій взаємодіють між собою струмені рідини, які витікають із сопел. Доцільним було би показати інші фото в досліджуваному діапазоні тисків і температур для встановлення особливостей гідродинаміки, оскільки з рис. 3.23 складно робити висновки.
14. Автор наводить результати щодо насичення води киснем від тривалості обробки. Не зовсім зрозумілими є умови проведення дослідів. Якщо немає доступу повітря, то тільки за рахунок сонолізу отримати насичення в межах 65% не можливо! Такий результат можна отримати тільки якщо є доступ до повітря і ніяк не 2 чи 3 % об. Аналогічні зауваження стосовно залежності наведеної на рис. 3.28 (крива 1). Складно оцінити час обробки оскільки дисертант не наводить характеристик насоса.
15. Перганатометричну методику, яку пропонує автор для визначення гідрогену пероксиду доцільно використовувати лише у першому наближенні, оскільки

не тільки гідроген пероксид буде окисляти перманганат калію. Для точного встановлення концентрацій гідрогену пероксиду добре було би використати хемілюмінесцентний аналіз.

16. Механізм хімічних перетворень описаний поверхнево та недостатньо обґрунтований.
17. Необхідно зауважити, що в дисертаційній роботі наголошується про кавітаційно-флотаційне розділення пульпи в процесі збагачення сірчаної руди, але на с. 112 зазначено, що без додаткового введення повітря утворення флотоконцентрату не спостерігається, то можливо кавітації тут немає, а здійснює вплив повітря в турбулентних умовах.
18. Результати наведені в 4 розділі складно оцінити, оскільки не наведено умов, за яких відбувалась пневматична флотація та запропонований процес. Аналогічне зауваження щодо рис. 4.2. Не зрозуміло, за яких умов перемішували (можна перемішувати за $n=10\text{с}^{-1}$, а можна і за $n=50\text{с}^{-1}$). Тобто рівень турбулентності буде різний, введена енергія також.
19. Стосовно досліджень 4.3.1. за вмісту частинок розмірами від $0,5 \cdot 10^{-3}$ до $1,0 \cdot 10^{-3}\text{м}$ 69,7% виникає питання безперервної роботи, надійності запропонованої конструкції, адже діаметр сопел $1,6 \cdot 10^{-3}\text{м}$.
20. Результати, наведені на рис. 4.3 були би більш обґрунтованими, якби були наведені результати розчинення за інших умов (умови проведення досліджень також не зрозумілі). Далі дисертант пише, що за умови застосування механічної мішалки і турбулентних умов перемішування отримано аналогічні результати. Виникає питання, а для чого тоді кавітація?
21. Знову звертаю увагу на те, що за кавітаційних умов буде спостерігатися значне подрібнення твердої фази. Це підтверджено значною кількістю публікацій. Тому рис. 4.4 потребує додаткових пояснень, оскільки не зрозуміло, які умови розділення. Для того, щоб оцінити результати, наведені на с. 128-129, необхідно знати характеристики насоса, які автор не наводить.
22. Результати, наведені на рис. 4.7. були би більше обґрунтованими, якби дисертант представив дані щодо швидкостей процесів утворення кристалогідрату - дігідрату кальцію оксалату та його трансформації в

моногідрат. Аналогічно і розкладу моногідрату до кальцію оксалату. Доцільним було би представити підтвердження того, що в певні періоду часу саме ці процеси відбуваються.

- 23.Звертаю увагу на некоректну термінологію, зокрема кавітаційне поле, а не кавітаційна ділянка; кавітаційні бульбашки заповнені не пароповітряною сумішшю, а парогазовою та ін.
- 24.У другому розділі не наведено висновків.
- 25.Щодо загальних висновків слід зазначити, що в роботі розглядається декілька абсолютно різних процесів об'єднаних словами розділення і кавітація, а не один процес як пише автор у преамбулі.
- 26.Відповідно до п. 3. загальних висновків незрозуміло, чому розміри кавітаційних бульбашок за УЗ кавітації є більшими, ніж за гідродинамічної. На сьогодні багатьма публікаціями підтверджено, що навпаки, за гідродинамічної кавітації отримуємо парогазову фазу з більшими розмірами.
- 27.Відповідно до п. 7 загальних висновків не наведено умов механічного перемішування, тому такий висновок є необґрунтованим.
- 28.Твердження п. 8. загальних висновків потребує уточнення, оскільки розроблені не технологічні схеми, а наведено лише машино-апаратурні схеми.
- 29.Деякі посилання на літературу не відповідають наведеній в переліку, наприклад с. 47 (257).
- 30.У роботі зустрічаються невдалі звороти та описки.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Сухацького Юрія Вікторовича "Гідродинамічний кавітатор для кавітаційно-флотаційного розділення водних гетерогенних середовищ" в загальному, за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.17.08 "Процеси й обладнання хімічної технології". Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу науково-прикладну задачу, суть якої полягає у дослідженні сучасних комбінованих методів флотаційного розділення дисперсної фази.

Дисертаційна робота відповідає вимогам "Порядку присудження наукових

ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567, а здобувач, Сухацький Юрій Вікторович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – ”Процеси й обладнання хімічної технології”.

Офіційний опонент,

завідувач кафедри

“Обладнання харчових технологій

Тернопільського національного технічного

університету імені Івана Пулюя

доктор технічних наук, професор

Т.М.Вітенько

Підпис д.т.н., проф. Вітенько Т.М.

З А С В І Д Ч У Ю:

докт. техн. наук. професор,

проректор з наукової роботи

Тернопільського національного технічного

університету імені Івана Пулюя



Р.М.Рогатинський