

## ГІДРОДИНАМІЧНА АКТИВАЦІЯ ТВЕРДОФАЗНИХ РЕАГЕНТІВ У ТЕХНОЛОГІЯХ КОНДИЦІОНУВАННЯ СТІЧНИХ ВОД

© Мних Р.В., 2012

**Досліджено основні фізико-хімічних параметри та властивості активованої суспензії кальцію гідроксиду.**

**Ключові слова:** стічні води, активація, ультразвук, кавітація.

**Investigational basic physical and chemical parameters and properties of the activated suspension of calcium hydroxide.**

**Keywords:** effluents, activation, ultrasound, cavitation.

### Вступ

Проблема забезпечення високоякісною водою господарсько-питних потреб населення та потреб промисловості, енергетики, незважаючи на тривалий період вивчення, зберігає свою актуальність і гостроту. Екологічна безпека водних об'єктів – необхідна складова раціонального водокористування та водоспоживання. Визначальною умовою забезпечення споживачів водою відповідної якості є належне очищення господарсько-побутових та, що дуже важливо, промислових стічних вод. Це унеможливить надходження у водні об'єкти величезних кількостей різноманітних поллютантів, які прямо чи опосередковано негативно впливають на розвиток і функціонування водного біоценозу, трофічних ланцюгів, загальний видовий і чисельний склад гідробіонтів. У результаті порушуються процеси самоочищення водойм, їх самовідновлення. Непоправної шкоди зазнають і підземні води, незважаючи на їх відносну захищеність від антропогенного впливу. Загальновідомо, що збільшення кількості забруднювачів, що потрапляють у природні водойми, ускладнює технології водоочищення, збільшує кількість стадій та об'ємів очисного обладнання, спричиняє значне здорожчання тощо, а це, своєю чергою, обмежує споживача (і населення, і промисловість) у якісній воді.

### Постановка задачі та огляд джерел літератури

В Україні існує розгалужена мережа підприємств харчової промисловості різної потужності й форми власності. Спостерігається тенденція росту кількості молоко- та м'ясопереробних цехів, особливо у галузі птахівництва. Новостворені, а в більшості випадків і вже існуючі підприємства не обладнані або неналежно оснащені водоочисним обладнанням. Через це у водойми потрапляє багато забруднювачів як органічної, так і неорганічної природи (жири, речовини білкової природи, синтетичні поверхнево активні сполуки тощо).

Традиційно як головну стадію технології очищення стічних вод пропонують застосовувати біологічне оброблення в анаеробно-аеробних умовах. Масштабність та складність реалізації такого очищення стосовно конкретного об'єкта водовідведення першочергово визначається рівнем забрудненості стоку. Відомо, що стічні води важко піддаються біологічному очищенню від жирів, які перебувають переважно в емульсованому стані (це вдвічі сповільнює швидкість їх біологічної деструкції). Що стосується білків та вуглеводів, то вони переважно дисперговані до колоїдного стану, і швидкість їх біохімічного видалення залежить насамперед від їх хімічної структури. Зрозуміло, що попереднє зниження ступеня забрудненості істотно покращить технологічні та техніко-економічні показники стадії біологічного очищення стічних вод.

Виконаними раніше дослідженнями встановлено, що попереднім, а у багатьох випадках і єдиним (достатнім для досягнення показників очищених стоків, необхідних для скидання їх у довкілля), очищенням стічних вод є хімічне. Як реагенти запропоновано використовувати кальцієві сполуки, як от: кальцію гідроксид, кальцію оксид, кальцію гіпохлорит тощо. Ці речовини є доступними, порівняно дешевими, а внаслідок їх взаємодії із забруднювачами утворюються малорозчинні нетоксичні сполуки, які випадають у вигляді осадів. Для реалізації

процесу хімічного очищення не потрібно громіздкого, великогабаритного обладнання, а, отже, і значних площ. Недоліками перелічених вище реагентів є низька розчинність (близько 1,5 г/л), блокування реакційної поверхні жирами та продуктами взаємодії реагентів із забруднювачами. Усунути вказані недоліки, значно інтенсифікувати процес очищення можна шляхом активування кальцієвмісних сполук за допомогою акустичних випромінювань.

**Мета роботи** полягала в дослідженні основних фізико-хімічних параметрів та властивостей активованої суспензії кальцію гідроксиду.

### Експериментальна частина

Активували суспензію  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  за допомогою кавітатора особливої конструкції: апарат оснащений профільованими соплами із регульованим розміщенням в апараті – під кутом  $120 \dots 160^\circ$ . Кавітація в цьому випадку має гідродинамічну природу й виникає в турбулентних потоках у моменти розриву суцільної рідини внаслідок різкого перепаду тиску. Як реагент використовували вапно-пухлянку, попередньо просіяну через сито з розмірами отворів  $6 \cdot 10^{-5}$  м. Для експерименту готували 5 % суспензію (вміст основної речовини – кальцію гідроксиду, як встановлено аналітично, становив  $2120 \text{ мг/дм}^3$ ).

Кінетику седиментації полідисперсної системи кальцію гідроксид – вода вивчали загально-відомим методом безперервного зважування осаду за допомогою торсійної ваги; розмір частинок та фракційний склад дисперсної системи розраховували, використовуючи закон Стокса [1]. Окрім того, було досліджено седиментаційну стійкість системи методом нефелометрії, та виникнення електричних зарядів на поверхні обробленої суспензії електрофоретичним методом.

Обробляли суспензію кальцію гідроксиду кількаразовим (із заданою кратністю циркуляції) обробленням певного об'єму суспензії, який пропускали через кавітуючий елемент; тривалість процесу оброблення суспензії реагенту визначали необхідною кратністю активування. Так, один цикл оброблення тривав 2,5 хв, відповідно шестиразове, одинадцятиразове й двадцятидворазове тривало 15, 30 і 60 хв. Відомо, що кавітаційні явища завжди супроводжуються тепловими ефектами – нагріванням системи, а це, своєю чергою, змінює низку її фізико-хімічних параметрів: в'язкість, густину, розчинність твердофазних реагентів тощо. Для підтримування сталої температури як під час оброблення  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , так і виконання наведених вище методів аналізу в першому випадку ємність із циркулюючою суспензією було оснащено теплообмінними елементами, а у другому – використовували термостат.

Основні результати досліджень наведено на графіку (рис. 1).

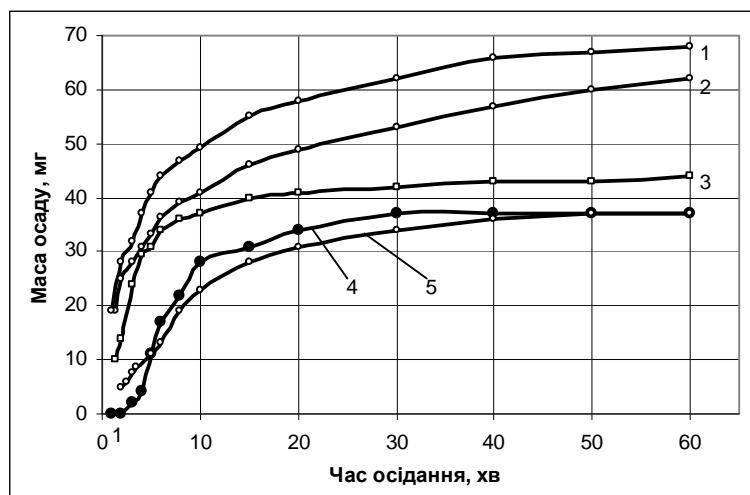


Рис. 1. Зміна маси осаду протягом седиментації:  
Кратність оброблення: 1 – без оброблення (0 хв); 2 – одноразове (2,5 хв);  
3 – шестиразове (15 хв); 4 – 11-разове (30 хв); 5 – 22-разове (60 хв)

Як видно з одержаних експериментальних даних, оброблена суспензія характеризується значно вищою дисперсністю, ніж необроблена. Про це свідчить зменшення на 45,6 % маси осаду в акустично активованій суспензії та збільшення часу, протягом якого досягається седиментаційна стійкість збільшується більш ніж удвічі. Седиментаційну стійкість вважали досягнутою, якщо покази торсійної ваги протягом 30 хв. змінювались не більше ніж на 1–2 мг, останнє значення маси осаду приймали за

100%. На підставі оброблення результатів експериментів розраховано інтенсивність седиментації частинок кальцію гідроксиду без попереднього гідродинамічного оброблення суспензії та після її активування (рис. 2).

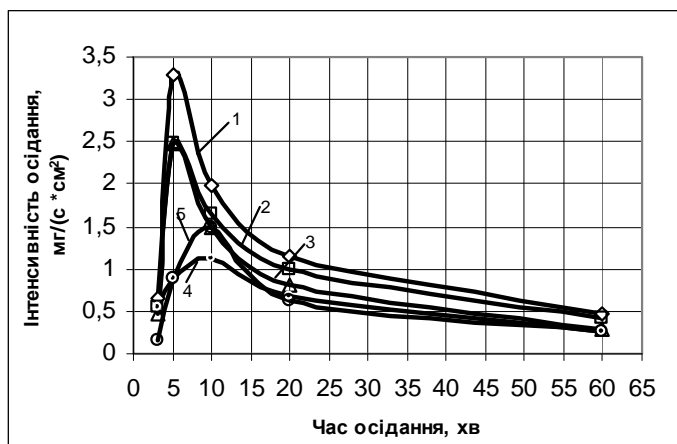


Рис. 2. Зміна інтенсивності осідання від часу  $мг/(с \cdot см^2)$ :  
Кратність оброблення: 1 – без оброблення (0 хв); 2 – одноразове (2,5 хв);  
3 – шестиразове (15 хв); 4 – 11-разове (30 хв); 5 – 22-разове (60 хв)

З рис. 2. видно, що максимальна інтенсивність осідання суспензії характерна для необробленої суспензії. Точки екстремумів на кривих, які описують інтенсивність осідання обробленої суспензії, знаходяться значно нижче, ніж для необробленої. Окрім того, екстремуми на залежностях 4 і 5 (відповідно для 30 та 60 хв. озвучення) зміщені праворуч – у бік збільшення часу осадження. Так, 11-разове оброблення суспензії дає змогу збільшити седиментаційну стійкість на 60 %, а 22-разове – практично вдвічі. Це означає, що збільшення тривалості оброблення суспензії сприяє підвищенню її седиментаційної стійкості, що опосередковано свідчить про зменшення розмірів частинок кальцію гідроксиду внаслідок активації.

Такий характер кривих, зображених на рис. 1 та 2, можна пояснити, всебічно розглянувши явища, які відбуваються у системі.

Попередні дослідження [2], проведені з використанням ультразвукового випромінювача «Ultrasonic UD-20» (частота випромінювання – 20 кГц, потужність – 12,67 Вт), дали можливість стверджувати, що акустичні випромінювання впливають як на дисперсну фазу (частинки суспензії кальцію гідроксиду), так і на дисперсійне середовище (воду).

Глобально існують два механізми, які чинять руйнівну дію на тіла в зоні розвиненої кавітації:

- 1) механізм утворення кумулятивної струминки внаслідок несиметричного змикання мікробульбашки поблизу стінки або обтікаючої потоком поверхні, яка зумовлює кавітаційну ерозію;
- 2) механізм дії сферичних ударних хвиль, які виникають при симетричному змиканні бульбашок у „безграничній” рідині за умови відсутності у рідині достатньо великих за розміром домішок.

Раніше теоретично було показано [3, 4], що сплескування каверни супроводжується поширенням у рідині імпульсу тиску у вигляді ударної хвилі, величина якої може досягати  $10^3$  МПа. Згасання хвилі від одинарної бульбашки відбувається настільки швидко, що бульбашка може викликати руйнування твердого тіла, якщо воно знаходиться від неї на відстані, співмірній з її початковим радіусом. Окрім того, найімовірніше, значно впливають на тверді частинки суспензії механізми ударного впливу груп бульбашок під час їх колективного сплескування. Згідно з літературними даними [5], існують різноманітні схеми взаємодії колапсуєючих мікробульбашок і дисперсної фази. У випадку системи гідроксид кальцію – вода можна припустити, що взаємодія між твердим  $Ca(OH)_2$  та ударними хвилями відбувається за такими схемами: руйнування частинки кумулятивною струминкою внаслідок несиметричного колапсу парогазової бульбашки (за відповідного розміру частинки), взаємодія одиначної частинки із системою ударних хвиль під час сплескування груп бульбашок, взаємодія ударних хвиль при колапсі груп бульбашок на скупчення частинок дисперсної фази, одночасна взаємодія ультраструминок, ударних хвиль та твердих включень та ін. Зменшення дисперсності частинок  $Ca(OH)_2$ , набуття ними певних електричних зарядів під дією кавітаційних явищ підтверджуються проведеними

дослідженнями. Так, математичне оброблення результатів седиментаційного аналізу дало змогу оцінити розподіл частинок за радіусами в обробленій та необробленій системі. Як видно з рис. 3, еквівалентний радіус частинок із збільшенням тривалості оброблення зменшується відносно частинок з розміром  $0,397 \cdot 10^{-5}$  як найменших, що осіли до моменту встановлення седиментаційної стійкості системи. Дисперсний розподіл частинок суспензії необробленої та обробленої лише 1 раз (рис. 3, залежності 1 і 2) є практично однаковим. Тобто енергія, внесена в систему за одноразового оброблення, є недостатньою для диспергування частинок. Після шестиразового оброблення суспензії (рис. 3, залежність 3) частка дисперсних частинок ( $(0,397 \dots 1,5) \cdot 10^{-5}$  м) є значно більшою, а грубіших ( $(1,85 \dots 3,0) \cdot 10^{-5}$  м) меншою, ніж для двох попередніх випадків. Ці дані однозначно свідчать про збільшення дисперсності частинок реагенту із зростанням кратності оброблення суспензії.

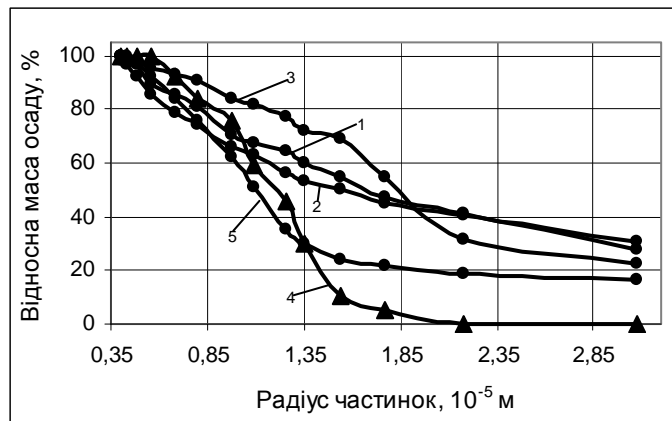


Рис. 3. Зміна відносної маси осаду протягом седиментації:  
кратність оброблення: 1 – без оброблення (0 хв); 2 – одноразове (2,5 хв);  
3 – шестиразове (15 хв); 4 – 11-разове (30 хв); 5 – 22-разове (60 хв)

Певне відхилення від виявленої закономірності дисперсності суспензії від тривалості оброблення спостерігається для 30 і 60 хв активації. Так, після 30 хв активації відносна маса, а отже, і кількість частинок радіусом  $2,17 \cdot 10^{-5}$  м дорівнює нулю, а після 60 хв оброблення становить приблизно 20 %.

Вказані закономірності можна пояснити співіснуванням у системі процесів агрегації і седиментації. Дослідження кінетики [6] подрібнення виявили такий характер зміни розміру частинок і питомої поверхні речовини у часі: спочатку розмір частинок у міру подрібнення зменшується, а питома поверхня зростає; після досягнення певного ступеня дисперсності починається агрегація частинок, внаслідок чого розміри частинок зростають; через деякий час встановлюється стан рівноваги – розмір частинок і питома поверхня не змінюються.

Отже, на підставі отриманих даних можна стверджувати, що тривалість активації суспензії кальцію гідроксиду (за умов виконання досліджень) не повинна перевищувати 30 хв.

### Висновки

Показано, що під впливом акустичних випромінювань, які генеруються гідродинамічним кавітатором, зростає дисперсність кальцію гідроксиду, а на поверхні виникають певні заряди. Встановлено, що тривалість оброблення не повинна перевищувати 30 хв. Подальша робота буде спрямована на дослідження взаємодії кальцію гідроксиду з органічними сполуками різних класів.

1. Путилова И.Н. Руководство к практическим занятиям по коллоидной химии. – М., 1961.
2. Мних Р.В. Застосування акустично активованих реагентів у технологіях водоочищення. // Вісник Нац. ун-ту „Львівська політехніка”. Хімія, технологія речовин та їх застосування, № 700. – Львів, 2011. – С. 38–41.
3. Кнепп Р., Дейли Дж., Хеммит Ф. Кавитация. – М.: Мир, 1974. – 688 с.
4. Флин Г. Физика акустической кавитации в жидкостях // Физическая акустика. – М.: Мир, 1967. – Т. 1. – Ч. Б. – С. 7–138.
5. Кулагин В.А. Методы и средства технологической обработки многокомпонентных сред с использованием эффектов кавитации: дис. ... д-ра техн. наук. Красноярск, 2004.
6. Вельдман Г.М., Зеликман А.Н. Теория гидрометаллургических процессов: Учеб пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Интермет Инжиниринг, 2003. – 464 с.