

На підставі нашого попереднього досвіду запропоновано взаємодію між солями алюмінію та заліза із суспензією кальцію гідроксиду проводити під дією ультразвукового випромінювання, що спричиняє явище кавітації.

Дослідження проводили шляхом дозування суспензії $\text{Ca}(\text{OH})_2$ до розчину солей алюмінію за постійного перемішування та збудження ультразвукових (УЗ) випромінювань, яке спричиняло виникнення області кавітації. Виникнення явища кавітації підтверджується підвищенням температури середовища в адіабатичних умовах та розсіюванням монохроматичного лазерного випромінювання під концентратором УЗ-випромінювання. Кожну наступну порцію суспензії кальцію гідроксиду додавали після досягнення сталого значення рН середовища. При цьому фіксували як об'єм доданої суспензії, так і час впродовж якого досягалось стале значення рН розчину.

Зразу після додавання кожної порції (об'єм залежав від початкової концентрації солі алюмінію) за постійного механічного перемішування рН середовища закономірно дещо зростає аж до досягнення точок еквівалентності. При цьому об'єм доданої суспензії через низьку розчинність $\text{Ca}(\text{OH})_2$ та незначну реакційна здатність поверхневих ОН-груп більший, аніж у разі здійснення процесу під дією УЗ-випромінювання (у кавітаційних полях) (рисунок). Це зумовлено низькою причиною: збільшенням швидкості дифузії реагентів,

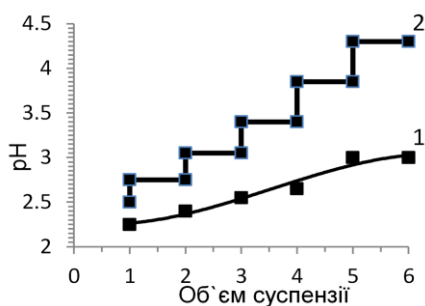


Рис. Залежність рН від об'єму $\text{Ca}(\text{OH})_2$: 1- за перемішування; 2 – під дією УЗ

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ забезпечує рівномірніше підведення йонів OH^- до йонів Al^{3+} , внаслідок чого формуються стабільні гідроксосолі. Своєю чергою локальне підвищення температури пришвидшує гідроліз $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ і сприяє гідролітичному утворенню $\text{Al}-\text{OH}-\text{SO}_4$ містків. Як наслідок – ефективність утворення алюмінієвих коагулянтів зростає.

диспергуванням частинок $\text{Ca}(\text{OH})_2$ під дією кавітації, пришвидшенням хімічних реакцій внаслідок локального збільшення температури завдяки колапсу кавітаційних бульбашок, блокує поверхню частинок $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і гальмує процеси розчинення і хімічної взаємодії із солями. Отже, повнота використання $\text{Ca}(\text{OH})_2$ у кавітаційних полях збільшується. При цьому седиментаційна стійкість непрореагованого $\text{Ca}(\text{OH})_2$ зростає.

Інтенсивне локальне перемішування при кавітації забезпечує швидку зміну рН у мікрооб'ємах, що сприяє переходу $\text{Al}^{3+} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})^{2+} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_2^+$ і далі до полігідроксокомплексів. Диспергування частинок

ІНТЕГРАЦІЯ КОАГУЛЯЦІЇ ТА АЕРОБНОЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ЇХ ЗНЕВОДНЕННЯ

*Мосійчук А.Б. *, Мосійчук Я.Б.*

Інститут водних проблем і меліорації НААН, м. Київ, Україна,

**andrew.mosiichuk@gmail.com*

Актуальність дослідження. На більшості діючих очисних споруд України технологічні схеми очищення стічних вод і обробки осадів залишаються морально та фізично застарілими. Процеси ущільнення, стабілізації та зневоднення реалізуються за класичними схемами, що не враховують сучасних науково-технічних досягнень і вимог до

енергоєфективності. Як наслідок, зневоднений осад часто характеризується високим вмістом води (96–99 %), що ускладнює його транспортування, зберігання та подальшу утилізацію. Відсутність ефективного попереднього етапу обробки осаду призводить до зниження продуктивності споруд, а недостатня стабілізація зумовлює вторинне виділення запахів, розвиток гнильних процесів і збільшення обсягів відходів, що потребують подальшої обробки.

Для вирішення цих проблем у міжнародній практиці активно впроваджуються технології аеробної та анаеробної стабілізації. Аеробна стабілізація полягає в окисненні органічної частини мулу за участю аеробних мікроорганізмів, унаслідок чого зменшується його об'єм і запах, а також поліпшуються санітарно-гігієнічні властивості. Анаеробна стабілізація ґрунтується на біохімічному розкладанні органічних речовин мікроорганізмами, що функціонують без доступу кисню. Під час процесу послідовно відбуваються ферментація, ацетогенез і метаногенез, у результаті чого органічна речовина трансформується в метан, діоксид вуглецю та стабілізований осад із меншим вмістом біорозкладних сполук. Хоча така технологія дозволяє одержувати біогаз, вона вимагає значних капітальних витрат і складного технічного обслуговування.

В Україні переважає використання мулових майданчиків, які забезпечують природне зневоднення осаду, але вимагають великих площ, тривалого часу обробки та не гарантують стабільного санітарного стану.

Механічні методи (центрифуги, фільтр-преси) ефективні, але енергоємні та дорогі в експлуатації.

Світовий досвід свідчить, що перспективним напрямом є комбінування біологічних і фізико-хімічних процесів, зокрема коагуляції та гравітаційного ущільнення з подальшою стабілізацією у мінералізаторах. Такі рішення поєднують технологічну простоту, енергоощадність і можливість адаптації до існуючих споруд. За цих умов набуває актуальності створення маловитратної, ресурсоефективної технологічної схеми, яка дозволяє покращити властивості осаду, зменшити його вологість і стабілізувати органічну частину без значних капітальних витрат.

Результати дослідження та їх обговорення. Проблематика обробки осадів стічних вод залишається однією з найскладніших у сучасних системах водовідведення України. На більшості споруд відсутні рішення, що дають змогу ефективно зменшувати об'єм і стабілізувати склад осаду до стану, придатного для подальшої утилізації. Накопичення надлишкового мулу спричиняє перевантаження систем, погіршення санітарного стану територій та підвищення експлуатаційних витрат.

Особливо гостро це проявляється за умов обмеженого фінансування. Значна частина очисних споруд була спроектована за технологічними принципами 1970–1990-х років, коли енергетичні витрати не мали вирішального значення, а питання поводження з осадами не розглядалося як окремий елемент екологічної безпеки. Сьогодні, за змінених кліматичних умов та підвищених вимог до екологічних показників, такі підходи є застарілими. Тому важливо розробляти рішення, що ґрунтуються на максимально можливому використанні існуючих споруд та процесів з мінімальним залученням додаткових ресурсів.

В умовах обмежених можливостей для повної реконструкції очисних споруд перспективним напрямом є удосконалення технологічних схем шляхом інтеграції процесів, які вже відбуваються в системі очищення. Одним із таких напрямів є поєднання процесів коагуляції та стабілізації осадів у межах існуючих мінералізаторів. Запропонований підхід базується на використанні існуючих аеробних мінералізаторів як ключового елементу комбінованої технологічної схеми, де процеси коагуляції частинок мулу, їх седиментації та біологічної стабілізації відбуваються послідовно й взаємопов'язано. Даний підхід дозволяє

оптимізувати час перебування осаду в системі, покращити процеси природного ущільнення та зменшити потребу в енергетичних витратах на подальше механічне зневоднення.

У межах схеми передбачається введення алюмовмісного реагенту у потік осаду перед надходженням до аеробного мінералізатора. Це сприяє агрегації дрібнодисперсних частинок у стійкі агрегати, які швидше осідають, утворюючи щільний шар. У мінералізаторі відбувається подальше ущільнення та часткова біологічна стабілізація осаду під дією аеробних процесів. Поєднання фізико-хімічної коагуляції з природними процесами мінералізації забезпечить формування стійкої структури осаду, зменшення його об'єму та підвищення ступеня зневоднення перед подальшою механічною або природною сушкою, що скорочує тривалість подальшого природного або механічного зневоднення. Таке технологічне рішення не потребує встановлення додаткових ємностей - достатньо дозувальної системи реагенту та контролю параметрів процесу. Це дає змогу впровадити схему на діючих спорудах із мінімальною реконструкцією.

Наукове обґрунтування цього підходу базується на закономірностях взаємодії фізико-хімічних та біохімічних процесів у системах очищення. Поєднання коагуляції і стабілізаційних процесів у єдиному технологічному циклі може забезпечити формування мулових агрегатів зі збільшеним розміром і міцнішою структурою, що позитивно впливає на швидкість седиментації та зневоднення. Крім того, підтримання аеробного середовища у мінералізаторі дає змогу уникнути утворення запахів і зменшує ймовірність розвитку анаеробних процесів, які ускладнюють подальшу переробку осаду.

У ролі коагулянту може застосовуватися хлорид алюмінію або полімерні композиції, вибір яких визначається характеристиками осаду, рН середовища та економічними чинниками. Контактна зона повинна забезпечувати рівномірне змішування реагенту з потоком для формування стабільних агрегатів.

Аеробний мінералізатор виконує подвійну функцію: як гравітаційний ущільнювач і як біологічний реактор, у якому відбувається часткова стабілізація органічних речовин під дією аеробних мікроорганізмів. Гравітаційне ущільнення при надходженні попередньо коагульованого осаду працює ефективніше за рахунок зменшення питомого об'єму осаду й покращення його структурно-механічних властивостей.

Важливою перевагою технології є її адаптивність: у літній період можна посилити аерацію для інтенсифікації мінералізації, а в зимовий - збільшити дозу коагулянту, компенсуючи зниження температури та біохімічної активності мулу.

Додатковим позитивним ефектом є зменшення запахових викидів і стабілізація санітарно-гігієнічних характеристик осаду. Завдяки аеробним умовам та інтенсифікації біоокиснення знижується частка летких органічних сполук, а вміст стабільного мінерального залишку зростає. Це дозволяє розглянути можливість подальшого використання осаду.

Разом з тим застосування алюмовмісних реагентів має низку важливих обмежень, які необхідно врахувати при проектуванні та експлуатації. По-перше, введення солей алюмінію може призводити до підвищеного вмісту розчинного і колоїдного алюмінію у вихідному осаді та фільтраті. Це має значення при подальшому використанні осаду (питома токсичність для рослин у кислих ґрунтах, фіксація фосфору) і вимагає оцінки допустимих залишків алюмінію відповідно до регіональних нормативів. По-друге, залишкові солі алюмінію можуть змінювати рН і впливати на мікробні процеси: висока доза може пригнічувати біологічну активність у мінералізаторі або в анаеробних післяпроцесах, тому потрібна ретельна оптимізація дозування. Слід також враховувати питання корозії устаткування та безпеки зберігання реагентів.

Практична реалізація передбачає етапи лабораторного та пілотного тестування з визначенням ефективності різних коагулянтів і режимів аерації. Після лабораторної

оптимізації слідує тест із подачею осаду в діючий мінералізатор або в пілотну модель гравітаційного ущільнювача, де оцінюють зміну якісних і кількісних показників, у тому числі швидкість ущільнення і технологічні аспекти подальшого механічного зневоднення.

Інженерні рішення для впровадження включають точку введення реагенту на вході у мінералізатор, використання механізму змішування для забезпечення стабільного контакту реагент-осад та контроль часу контакту (від хвилин до кількох годин залежно від вибраної схеми), оптимізацію подачі повітря та встановлення системи контролю параметрів процесу без масштабних будівельних робіт. Це робить схему перспективною для впровадження в малих і середніх населених пунктах, де техніко-економічні можливості є обмеженими, але потреба в покращенні стану очисних споруд - надзвичайно гостра.

Очікуваним результатом реалізації такої схеми є підвищення ефективності зневоднення на 10–20% порівняно з традиційними схемами без залучення додаткового реагентного чи механічного обладнання. Додатково передбачається зменшення обсягів вторинного мулу, оптимізація навантаження на споруди механічного зневоднення, а також зниження питомих енерговитрат системи.

Висновки. Запропонована інтегрована технологічна схема, що поєднує коагуляцію та аеробну стабілізацію в мінералізаторах, є перспективним напрямом удосконалення систем очищення стічних вод. Вона дозволяє підвищити ефективність зневоднення, знизити енерговитрати та забезпечити екологічно безпечну утилізацію осадів.

Отримані результати створюють передумови до подальшого моделювання процесів зневоднення та визначення кінетичних закономірностей при різних дозах реагентів і режимах аерації з метою підтвердження технологічної ефективності в умовах реальних очисних споруд.

ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ: СУЧАСНИЙ ЕТАП ТА ОЧЕВИДНІ ПЕРСПЕКТИВИ

¹Нижник Т. Ю., ²Стрікаленко Т. В.

¹НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», Україна, м. Київ,
e-mail: taren8@gmail.com

²Одеський національний технологічний університет, Україна, м. Одеса,
e-mail: alpha.water.55@gmail.com

Серед проблем водозабезпечення жителів України, що потребують розгляду на сучасному етапі розвитку нашої країни, зазвичай розглядають традиційні - неоптимальна водозабезпеченість території країни, застаріле обладнання на станціях очищення води, значна кількість забруднених і пошкоджених водопровідних станцій та мереж водопостачання, досягнення у впровадженні, на цьому фоні, новітніх технологій оброблення природних вод. Не сумніваючись у їхній важливості, вважаємо, що не менш актуальними мають бути також питання, які виникають вже сьогодні та постануть перед виробниками питної води і населенням завтра. До таких питань відносимо (1) зміни клімату, що потребують впровадження технологій водопідготовки в умовах високих температур навколишнього середовища, (2) удосконалення водопідготовки в екстремальних умовах для забезпечення водою питної якості військових і населення, у тому числі в зонах бойових дій, (3) регламентацію повторного використання очищених стічних вод на підприємствах, а також (4) відновлення лабораторної бази підприємств, які забезпечують населення водою