

Розрахунок гідравлічної крупності частинок у лабораторних умовах, виконується за такою формулою:

$$U_0 = \frac{1000HK}{t_1(HK/h_1)^n} \quad (1)$$

де  $H$  – глибина робочої частини відстійника, м;  $K$  – коефіцієнт використання об'єму відстійника;  $t_1$  – тривалість відстоювання в лабораторному циліндрі при висоті шару  $h_1$ , протягом якого досягається необхідний ефект освітлення;  $n$  – коефіцієнт пропорційності, що залежить від агломерування завислих частинок речовин у процесі осадження в різних шарах води ( $h_1 > h_2$ ), його розраховують, використовуючи таку формулу:

$$n = \frac{\lg t_1 - \lg t_2}{\lg h_1 - \lg h_2} \quad (2)$$

де  $h_1$  і  $h_2$  – висота шарів відстоювання в лабораторних умовах, мм;  $t_1$  і  $t_2$  – тривалість відстоювання у відповідних шарах, коли досягається необхідний ефект, с.

Ефективність осадження суспензії розраховуємо як різницю значень концентрації завислих речовин у воді до і після осадження, а саме:

$$P = \frac{\mu_{\text{вих}} - \mu_i}{\mu_{\text{вих}}} \cdot 100 \quad (3)$$

Де  $\mu_{\text{вих}}$  – вміст завислих речовин у вихідній воді;  $\mu_i$  – вміст завислих речовин у відстоюній воді, г/л, після закінчення часу відстоювання.

В ході дослідження було визначено гідравлічну крупність цеолітової та бентонітової глини. Залежність швидкості осадження від температурного режиму, при коливанні температури на 3°C від середньої прискорюється випадання сорбенту в осадок. Розділено товщу рідини на шари, які показують перепади кількості завислих речовин в залежності від глибини, що дало змогу визначити розміри відстійника, висоту переливу рідини. Визначено повний цикл відстоювання для цеоліту становить 14 днів, для бентоніту становить 10 при наведених температурних коливаннях. Для заданих цілей період відстоювання не підходить, тому будуть проводитися дослідження для покращення швидкості випадання сорбенту в осад.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФЛОКУЛЯЦІЇ В ЕКОБІОТЕХНОЛОГІЇ ОЧИСТКИ СТИЧНИХ ВОД СПИРТОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

*Н.Ю. Масалітіна<sup>а</sup>, О.М. Близнюк<sup>а</sup>, О.В. Суворін<sup>б</sup>*

<sup>а</sup> *Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут,  
Харків, Україна*

<sup>б</sup> *Східноукраїнський Національний університет імені Володимира Даля,  
Севєродонецьк, Україна  
[nat\\_masalitina@ukr.net](mailto:nat_masalitina@ukr.net)*

Однією з нагальних проблем сьогодення є проблема охорони природи від забруднень і раціонального використання природних ресурсів. Тому розробка та удосконалення технології очищення стічних вод, яка задовольняє вимогам захисту водойм від забруднення, набуває першочергового значення як елемент контрольованого і керованого

впливу людини на природу. Оскільки різке зростання кількості стічних вод створює серйозну загрозу вичерпання запасів прісної води в густонаселених і економічно важливих районах. Тому особливе значення має охорона, раціональне комплексне використання та відтворення водних ресурсів, що передбачають захист їх від забруднення і виснаження, глибоке очищення забруднених стічних вод на очисних станціях з подальшим їх використанням в технічному водопостачанні, а також всебічне скорочення і навіть припинення скидання промислових стічних вод в ріки.

Наразі переважна більшість сучасних виробництв етанолу є незамкненими, і основним технологічним відходом спиртового виробництва, що утворюється після перегонки спирту, є рідка післяспиртова барда. Основна складність полягає в переробці рідкої фази барди – фугату, який містить цілий комплекс забруднюючих речовин. При скиданні неочищених стічних вод спиртового заводу на міські очисні споруди навантаження на них по БПК (показник біохімічного споживання кисню) зростає від 1 до 3 тон на добу в залежності від продуктивності заводу.

Існуючі технології очищення стічних вод спиртових заводів використовують або попереднє розведення висококонцентрованих стоків, або випаровування, що передбачає необхідність складного обладнання, наприклад, випарних установок, що призводить до підвищення енерговитрат і капіталовкладень. Внаслідок ряду технологічних і економічних переваг, біотехнологічні методи можуть розглядатися як перспективні для очищення висококонцентрованих стічних вод харчової промисловості.

Особливий інтерес представляє використання мікроорганізмів надлишкового активного мулу, що утворюється при біохімічній очистці стічних вод. В даний час ще не повністю визначені можливі шляхи утилізації надлишкового активного мулу. Використання мікроорганізмів активного мулу як реагентів для згущення суспензій може з'явитися одним з найбільш перспективних методів утилізації надлишкового активного мулу. Сорбційні та флокулюючі властивості клітин мікроорганізмів, що обумовлені адсорбційною взаємодією їх клітин із зваженими частинками, успішно застосовуються в очищенні стоків від колоїдних і грубо дисперсних домішок. Клітини мікроорганізмів, що знаходяться в культуральній рідині, можна розглядати як колоїдну дисперсну систему, в якій вони є специфічною дисперсною фазою, а культуральна рідина - дисперсним середовищем. Така система седиментаційно нестійка. Клітини мікроорганізмів в такій біологічній суспензії можуть перебувати як вільно, так і у вигляді великих агломератів. У зв'язку з цим біосуспензія може проявляти різну агрегативну стійкість. При агрегації клітин одним з визначальних чинників є їх заряд, чим вище його значення, тим стійкіше біосуспензія.

Як показав аналіз літературних даних [1–3] у світовій практиці очищення стічних вод широкого поширення набули синтетичні полімерні флокулянти. У зв'язку з цим представляло певний інтерес порівняти флокулюючу здатність дріжджових та бактеріальних культур і синтетичних флокулянтів, які використовуються в очищенні стічних вод. Були проведені дослідження щодо впливу дріжджових та бактеріальних культур на інтенсифікацію процесу згущення.

Для дослідження використовувалися дріжджі роду *Saccharomyces cerevisiae*. Штам не є патогенним. Для вирощування оптимальними умовами є розчин дріжджового екстракту з температурою 30 °С, що містить пептони і глюкозу. Мікроорганізми активного мулу вводились в зразки стічних вод з концентрацією 8 г/л. Дріжджі подавалися з концентрацією

5–6 г/л. Дослідження процесу очищення стічних вод проводили на зразках стічних вод виробництва біоетанолу за температури  $22 \pm 3^\circ\text{C}$ .

Механізм дії флокулянтів ґрунтується на адсорбції молекул флокулянта на поверхні колоїдних частинок; утворення сітчастої структури молекул флокулянта; злипанні колоїдних частинок за рахунок сил Ван-дер-Ваальса.

Відбувається зниження рівня  $\zeta$ -потенціалу клітин, при якому відбувається максимальне зниження агрегативної стійкості системи. Тому найбільш імовірним механізмом флокуляції в даному випадку є зменшення електростатичних сил відштовхування. Дослідження процесу очищення стічних вод проводили на зразках стічних вод виробництва біоетанолу за температури  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . Визначення  $\zeta$ -потенціалу ґрунтується на здатності бактеріальних клітин переміщатися в електричному полі до одного з полюсів. Підрахунок кількості бактеріальних клітин проводили у камері Горяєва під мікроскопом. Величину  $\zeta$ -потенціалу розраховували за формулою:  $\zeta = (U \cdot \mu \cdot L) / (\epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot E)$ , де  $U$  – електрофоретична швидкість,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$ ;  $\mu$  – в'язкість води за температури досліджу,  $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ ;  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  – електрична стала,  $\text{Кл} / (\text{В} \cdot \text{м})$ ;  $\epsilon$  – діелектрична проникність середовища;  $E$  – різниця потенціалів зовнішнього електричного поля, В;  $L$  – відстань між електродами, м. Визначення каламутності ( $\text{мг} / \text{дм}^3$ ) проводили фотометричним методом на фотоелектроколориметрі (КФК-2;  $\lambda = 540$  нм, стандартна кювета  $l = 50$  мм).

Ступінь очистки ( $\alpha$ ) при внесенні комплексу мікроорганізмів у вигляді активного мулу дріжджових культур в стічну воду визначали за формулою  $\alpha = 100 \cdot (n_0 - n) / n_0$ , де  $n_0$  – мутність вихідної стічної води,  $n$  – мутність стічної води після обробки комплексом дріжджових та бактеріальних культур.

Ефективність згущення суспензії із використанням дріжджових та бактеріальних культур в значній мірі залежить від умов оптимального контактування. У зв'язку з цим були проведені експериментальні дослідження по вивченню інтенсивності перемішування, що характеризується градієнтом швидкості, на мутність зливу суспензії. Мутність надосадової рідини суспензії вимірювалась після осадження твердої фази.

Збільшення ступеня очищення стоку відбувається за рахунок зниження  $\zeta$ -потенціалу клітин мікроорганізму та дріжджових культур, що, у свою чергу, зменшує агрегативну стійкість системи. Проведені дослідження дозволяють зробити висновок, що ймовірною причиною дестабілізації дисперсії є не лише зниження заряду та потенціалу частинок, а й утворення місткових зв'язків між частинками через адсорбовані молекули. Дія флокулянтів доповнює процес коагуляції колоїдних розчинів, оскільки не тільки скорочується час, що йде на утворення пластівців, а й збільшується щільність цієї субстанції, її розміри. Це пов'язано з тим, що при флокуляції зв'язку між зваженими частинками утворюються не тільки за рахунок їх контакту, як при дії коагулянту, а й шляхом утворення додаткових зв'язків між молекулами флокулянта. На відміну від коагуляції при флокуляції агрегація відбувається не тільки при безпосередньому контакті частинок, але і в результаті взаємодії молекул адсорбованого на частинках флокулянта.

Результати експериментальних досліджень з впливу мікроорганізмів на швидкість осадження показали, що швидкість осадження збільшується з ростом кількості мікроорганізмів в пластівчастій суспензії.

Були проведені дослідження впливу величини рН на якість очищення стоків від забруднень, оскільки рН впливає також і на значення  $\zeta$ -потенціалу, а тому і на стійкість високодисперсної системи. Встановлено, що є найбільш доцільна величина рН, за якого клітини мікроорганізмів адсорбують найбільшу кількість забруднень. При рН, що відрізняються від цього значення, адсорбція погіршується, а при деяких значеннях рН може зовсім припинитися. В лужній області настає посилення адсорбційної взаємодії мікроорганізмів внаслідок дії електростатичних сил, і при досягненні рН середовища, що дорівнює або близьке до значення, що відповідає ізоелектричній точці для клітин мікроорганізмів, дія електричного фактору знижується і відбувається посилення адсорбційної взаємодії між мінеральними частинками і клітинами мікроорганізму.

Встановлено, що для задовільної роботи активного мулу необхідна нейтральна реакція середовища в діапазоні 6,5–8,0. Спадання значення рН стічної води призводить до зниження інтенсивності обміну у бактерій, дефлокуляції та зниженню швидкості утворення осаду активного мулу, а при рН < 5,0 бактерії антагоністично витісняються грибами. Збільшення рН підвищує інтенсивність обміну активного мулу, а за умови лужного середовища (рН > 8,5) більшість клітин активного мулу гине.

Очистка стічних вод комплексом мікроорганізмів або дріжджовими культурами дозволила збільшити ступінь очистки до 87 % (комплекс мікроорганізмів) та 83 % (дріжджові культури т) по ХПК та до 73,4 % (комплекс мікроорганізмів) та 70,2 % (дріжджові культури) по показнику «мутність».

Таким чином, використання природніх флокулянтів таких як комплекс мікроорганізмів або дріжджових культур може успішно конкурувати із використанням синтетичних флокулянтів в очищенні стічних вод. Це дозволить спростити технологію водоочищення та підвищить її екологічну безпеку.

Гоголашвили Э.Л. Влияние органических полимерных коагулянтов на эффективность процесса водоочистки / Э.Л. Гоголашвили, В.Ф. Куренков, И.Е. Молгачева, А.И. Гайсина // Структура и динамика молекулярных систем. – 2003. – Вып. X., Ч. 2. – С. 85–88.

Гридэл Т.Е. Промышленная экология: учеб.пособие для вузов / Т.Е. Гридэл, Б.Р. Алпенби; пер с англ. под ред. проф. Э.В. Гирусова. – Москва: ЮНИТИ – ДАНА, 2004. – 527 с.

Брындина Л.В. Влияние агрегативной устойчивости клеток актиномицета *Streptomyces chromogenes* s.g 0832 на очистку сточных вод / Л.В. Брындина, К.К. Полянский // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2020. – Т. 20. № 2. – С. 215–222.