

УДК 504.064+628.316.12

К. І. Петрушка, М.С. Мальований, докт. техн. наук, проф., І. М. Петрушка, докт. техн. наук, проф.

Національний університет «Львівська політехніка», Україна

МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ТА ШАХТНИХ ВОД ПРИРОДНИМИ СОРБЕНТАМИ

K.I. Petrushka, M.S. Malyovanyu, Dr., Prof., I.M. Petrushka Dr., Prof.

METHODS OF FORECASTING AND EFFICIENCY SEWAGE MINE WATERS NATURAL SORBENTS

В регіонах України з гірничих виробок відкачується і скидається в поверхневі водні об'єкти щорічно до 1 млрд м³ шахтних вод. З них 60–75 % мають мінералізацію понад 1000 мг/дм³, до 20 % – 3000 мг/дм³ і більше. Масштабне надходження таких вод у природні водотоки і водойми, їх інфільтрація в перші від поверхні підземні водоносні горизонти призводить до відчутних негативних наслідків – змін гідрологічного і гідрохімічного режиму природних і штучних водних об'єктів, їх замулення, засмічення і забруднення, погіршення умов водокористування, деградації поливних земель тощо.

У сучасних умовах найбільш поширені в Україні технологічні схеми діючих і проєктованих очисних споруд для шахтних і рудничних (кар'єрних) вод передбачають в основному видалення з них завислих речовин, частково – органічних забруднень, знезараження, реагентну обробку та освітлення води, що скидається. Загальний вміст розчинених мінеральних сполук, зокрема іонів лужних і лужноземельних металів, а також гідрокарбонатних, сульфатних і хлоридних іонів при очистці шахтних чи рудничних вод практично не змінюється. Це зумовлюється тим, що ці сполуки (іони) із солонуватих, наприклад, шахтних вод на очисних спорудах не виділяються і не затримуються.

Широкий спектр методів очищення даних вод є ефективним для незначних об'ємів. Тому розроблення ресурсозберігаючих технологій для зниження рівня екологічної небезпеки скиду забрудненої шахтної води в поверхневі водойми підприємствами вугільної промисловості з використанням природних мінералів є актуальною задачею щодо зменшення антропогенного навантаження на навколишнє середовище.

Зважаючи на еколого-економічні аспекти, особливої уваги заслуговують адсорбенти на основі природної сировини, які здатні поглинати з рідкої фази та утримувати у своїй структурі забруднюючі елементи.

Перспективність використання природних адсорбентів у технологічних процесах очищення стоків зумовлена не тільки їх достатньо високою адсорбційною ємністю, але й існуванням ефективних методів покращення адсорбційних властивостей мінералів та природи модифікуванням їх поверхні, широким розповсюдженням в надрах України та промисловим розробленням великої кількості родовищ, невисокою вартістю мінералів.

Характерною властивістю цеолітів є катіонний обмін, який протікає шляхом дифузії катіонів, наприклад: катіони Ca²⁺, Na⁺, які знаходяться в порожнинах і каналах цеолітів, можуть замінюватися K⁺, Mg²⁺, Fe²⁺. Абсорбція речовини цеолітами відбувається через канали або входи-вікна, які мають певні розміри. Проникнути через ці канали всередину цеоліту можуть тільки молекули величина яких менша діаметра каналу. Це обумовлює можливість застосування цеолітів як молекулярних сит.

Визначення оптимальних співвідношень природних сорбентів для підвищення їх сорбційної здатності відносно основних забрудників шахтних вод проводиться експериментально. Проте процес прогнозування степені сорбції може бути і теоретичний на основі розрахункових коефіцієнтів зовнішньої дифузії та розрахункових коефіцієнтів масовіддачі.

Адсорбційні процеси в системі «рідина-тверде тіло» характеризуються різною формою ізотерм рівноваги. Для більшості адсорбційних систем в яких використовуються пористі тіла характерна форма ізотерми Ленгмюра.

Отримані експериментальні дані свідчать про те, що зовнішньодифузійний масообмінний процес найбільш ефективно проходить при 300 об/хв. Подальше збільшення швидкості обертів не впливає на інтенсивність процесу сорбції, що дає змогу стверджувати, що масообмінні процеси переходять у внутрішньодифузійну область, при цьому зовнішні параметри не впливають на кінетику сорбції. В процесі обтікання твердого тіла рідиною поблизу твердої поверхні виникає дифузійний пограничний шар, який характеризується поступовим затуханням турбулентних пульсацій у міру наближення до границі розділу фаз. Тобто для інтенсифікації зовнішньодифузійного процесу адсорбції необхідно максимально зменшити товщину пограничного шару.

У розвинених турбулентних потоках зовнішньої фази, перенесення речовини відбувається в основному міграцією елементарних вихорів, які переміщують макроскопічні об'єми середовища, створюючи хаотичний перерозподіл твердої фази. Внаслідок цього розрахунок коефіцієнту турбулентної дифузії суттєво ускладнюється і для наближених розрахунків його прирівнюють до числа Рейнольдса в рідкій фазі, яка переміщується, що збільшує похибку досліджень.

Для визначення адекватності експериментальних даних теоретичним, нами використана методика розрахунку теоретичного коефіцієнту масовіддачі на підставі теорії локальної ізотропної турбулентності для апаратів з механічними пристроями.

Коефіцієнт масовіддачі β_p в даному випадку можна розрахувати через питому енергію дисипації твердої дисперсії, яка враховує фізико-хімічні характеристики середовища та гідродинамічні і геометричні параметри процесу перемішування:

$$\beta_p = 0,267 \cdot (\varepsilon_0 \cdot \nu)^{\frac{1}{4}} \cdot Sc^{-\frac{3}{4}},$$

де ε_0 – питома енергія дисипації - $\varepsilon_0 = \frac{N}{\rho \cdot V}$; ν – кінематична в'язкість рідини, м²/с;

$$Sc = \frac{\nu}{D} \text{ – число Шмідта; } D \text{ – коефіцієнт дифузії цезію в розчині, м}^2\text{/с.}$$

Результати експериментальних досліджень можуть бути представлені також і у вигляді узагальнених змінних $Sh = f(Re_m)$, що дозволяє отримати лінійне рівняння для прогнозування інтенсивності процесу сорбції забрудників шахтних вод цеолітом.

Незначне відхилення отриманих залежностей, які характеризують теоретичні та експериментальні дані можна пояснити різницею величини радіальної сепарації твердих частинок біля стінок перемішуючого апарату і в центрі, що характерно для апаратів малого діаметру без відбивних перегородок.