

Мозоляк К.Є., учениця Дніпровського наукового хіміко-екологічного ліцею Дніпропетровської міської ради
 Науковий керівник: Ковров О.С., д.т.н., професор кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища
 (Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)

РОЗРАХУНОК ЕФЕКТИВНОСТІ ІОНОГО ОБМІНУ ДЛЯ ОТРИМАННЯ УЛЬТРАЧИСТОЇ ВОДИ

Згідно з даними Національної доповіді про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2023 р. майже 80 % населення України забезпечується питною водою з поверхневих джерел, але якість поверхневих вод залишається незадовільною.

Для вирішення проблем поліпшення якості питної води впроваджуються сучасні системи водопідготовки з використанням нового устаткування з механічної та фізико-хімічної очистки, за допомогою яких можна вловлювати більш широкий спектр забруднювачів водою, зокрема органічні колоїдні домішки, та забезпечувати якість питної води згідно з чинними стандартами [1].

Метод іонного обміну заснований на оборотній хімічній реакції обміну іонів між твердим матеріалом (іонітом) і розчином електроліта. У якості іонітів використовують синтетичні іонообмінні смоли або природні матеріали.

Технологічно процес іонообмінної очистки стічних вод аналогічний процесу адсорбційної очистки (фільтрація стічних вод через шар іонообмінного матеріалу, регенерація іонообмінного матеріалу шляхом його реагентної обробки при вичерпанні обмінної ємності) [2].

Для потреб водопостачання фармацевтичного підприємства розташованому у м. Дніпро запропоновано варіант отримання ультрачистої води з використанням аніонообмінного процесу з нижченаведеними розрахунками [3].

Склад вихідної води представлений наступними іонами (мг-екв/дм³): Na⁺ – 0,69; Ca²⁺ – 5,23; Mg²⁺ – 0,92; Cl⁻ – 1,44; SO₄²⁻ – 2,99; HCO₃⁻ – 2,39.

Продуктивність установки $Q = 25$ м³/год. Визначаємо необхідно площу фільтрування для двох фільтрів, при швидкості фільтрування 7 м/год:

$$F = Q/\omega = 25 / 7 = 3,6 \text{ м}^2. \quad (1)$$

Приймаємо два стандартних фільтри $D = 1400$ мм, $h_{\text{ш.}} = 2,1$ м, $f = 2,6$ м².

Визначаємо дійсну швидкість фільтрування:

$$\omega_{\text{д}} = Q / f / n = 25 / 2,6 / 2 = 4,8 \text{ м/год.} \quad (2)$$

Кількість фільтрів n :

$$n = F / f = 3,6 / 2,6 = 2. \quad (3)$$

В якості завантаження фільтру приймаємо слабкоосновний аніоніт АН-31. Його розрахункова обмінна ємність $E_{\text{ан}} = 800$ г-екв/м³.

Кількість аніоніту, необхідна для завантаження у фільтри, враховуючи резервний:

$$V_{\text{ан}}^{\text{вол}} = Q_{\text{доб}} \cdot (\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-) / E_{\text{ан}} \quad (4)$$

де $Q_{\text{доб}}$ – добова продуктивність фільтра, що визначається за формулою:

$$Q_{\text{доб}} = 24 \cdot 25 + 24 \cdot 25/n = 24 \cdot 25 + 24 \cdot 25/2 = 900 \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (5)$$

де SO₄²⁻ і Cl⁻ – концентрації іонів SO₄²⁻ і Cl⁻ у воді, мг-екв/дм³,

$E_{\text{ан}}$ – обмінна ємність аніоніту, г-екв/м³,

$$V_{\text{ан}}^{\text{вол}} = 900 \cdot (2,99 + 1,44)/800 = 4,98 \text{ м}^3 \quad (6)$$

Об'єм аніоніту в повітряно-сухому стані:

$$V_{\text{ан}}^{\text{сух}} = V_{\text{ан}}^{\text{вол}} / K_{\text{ан}}^{\text{наб}} = 4,98/2,32 = 2,15 \text{ м}^3 \quad (7)$$

де $K_{\text{ан}}^{\text{наб}}$ – коефіцієнт набрякання аніоніту.

Маса повітряно-сухого аніоніту, завантаженого у фільтри:

$$M_{\text{ан}}^{\text{сух}} = V_{\text{ан}}^{\text{сух}} \cdot \rho_{\text{ан}}^{\text{сух}} = 2,15 \cdot 0,72 = 1,55 \text{ т.} \quad (8)$$

де $\rho_{\text{ан}}^{\text{сух}}$ – насипна густина аніоніту, т/м³.

Тривалість фільтрування:

$$\tau = f_a \cdot h_{\text{ш}} \cdot E_{\text{ан}} \cdot n / Q / C = 2,6 \cdot 2,1 \cdot 800 \cdot 2/25 / (2,99 + 1,44) = 78,88 \text{ год,} \quad (9)$$

де C – концентрація аніонів (SO₄²⁻ + Cl), г-екв/л.

Добове число регенерації:

$$m = 24 \cdot n / \tau = 24 \cdot 2/78,88 = 0,6 \text{ рег./добу.} \quad (10)$$

Витрати 100%-го NaOH на одну регенерацію:

$$\sigma_{\text{NaOH}}^{100} = f_a \cdot h_{\text{ш}} \cdot b \cdot E_{\text{ан}} / 1000 = 2,6 \cdot 2,1 \cdot 100 \cdot 800 / 1000 = 436,8, \quad (11)$$

де b – питома витрата луку.

Витрати технічного 42%-вого NaOH на одну регенерацію ($\rho = 1449 \text{ кг/м}^3$):

$$\sigma_{\text{NaOH}}^{42} = \sigma_{\text{NaOH}}^{100} \cdot 100 / 42 = 436,8 \cdot 100/42 = 1040 \text{ кг, або } 0,72 \text{ м}^3. \quad (12)$$

Добова витрата 42%-вого гідроксиду натрію:

$$\Sigma_{\text{NaOH}}^{\text{доб}} = \sigma_{\text{NaOH}}^{42} \cdot m = 1040 \cdot 0,6 = 624 \text{ кг.} \quad (13)$$

Кількість 4%-вого регенераційного розчину, який потрібно на одну регенерацію ($\rho = 1043 \text{ кг/м}^3$):

$$\sigma_{\text{NaOH}}^4 = \sigma_{\text{NaOH}}^{42} \cdot 100/4 = 1040 \cdot 100/4 = 26000 \text{ кг, або } 29,9 \text{ м}^3. \quad (14)$$

Кількість води, що потрібна на приготування регенераційного розчину:

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \sigma_{\text{NaOH}}^4 - \sigma_{\text{NaOH}}^{42} = 29,9 - 0,72 = 29,18 \text{ м}^3. \quad (15)$$

Тривалість пропуску регенераційного розчину, при швидкості потоку $\omega = 7 \text{ м/год}$:

$$T_1 = \sigma_{\text{NaOH}}^4 / f_a / \omega = 29,9 / 2,6 / 7 = 1,64 \text{ год.} \quad (16)$$

Витрати води на відмивання фільтру, при питомій витраті $a = 8 \text{ м}^3/\text{м}^3$:

$$V_{\text{відм}} = f_a \cdot h_{\text{ш}} \cdot a = 2,6 \cdot 2,1 \cdot 8 = 43,68 \text{ м}^3. \quad (17)$$

Тривалість відмивання при швидкості відмивочного потоку $\omega = 7 \text{ м/год}$:

$$T_2 = V_{\text{відм}} / f_a / \omega = 43,68 / 2,6 / 7 = 2,4 \text{ год.} \quad (18)$$

Витрати води на розпушення іоніту, при інтенсивності подачі води $i = 3 \text{ л/(с}\cdot\text{м}^2)$:

$$V_{\text{розп}} = f_a \cdot t_3 \cdot i \cdot 60 / 1000 = 2,6 \cdot 10 \cdot 3 \cdot 60/1000 = 4,68 \text{ м}^3. \quad (19)$$

де t_3 – тривалість розпушення іоніту, год.

Загальна тривалість регенерації:

$$t = t_1 + t_2 + t_3 = 1,64 + 2,4 + 10/60 = 4,2 \text{ год.} \quad (20)$$

Визначимо сумарну витрату води на власні нестатки:

$$V_{\Sigma} = V_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{відм}} + V_{\text{розп}} = 29,18 + 43,68 + 4,68 = 77,54 \text{ м}^3 \quad (21)$$

Визначимо годинну витрату води на власні потреби [20]:

$$q_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\Sigma} / 24 = 77,54/24 = 2,23 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (22)$$

Таким чином, розрахунок аніонітового фільтра для потреб підготовки ультрачистої води для фармацевтичного виробництва свідчить, що використання іонообмінних фільтрів є сучасним екологічним напрямом, що дозволяє впроваджувати ці технології для оптимізації водопостачання промислових підприємств.

Список використаних джерел:

1. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання та водовідведення в Україні у 2023 році: ел. документ. Режим доступу: <http://surl.li/smkkkx>.
2. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води: Підручник. К.: Вища шк., 2005. – 671 с.
3. Петрук В. Г. Природоохоронні технології. Навчальний посібник. Ч.2 : Метод очищення стічних вод / [Петрук В. Г., Северин Л. І., Васильківський І. В., Безвозюк І. І.] – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 258 с.