

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАБІЛЬНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗВОРОТНООСМОТИЧНИХ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

М.Б. Бєседа, А.С. Михайліна, Г.В. Фаткуліна  
Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ "ДонНТУ", м. Горлівка

Більшість технічних систем в енергетичній, хімічній, металургійній промисловості може надійно працювати лише в умовах використання води позбавленої будь-яких домішок. Це вимагає впровадження нових підходів до побудови та функціонування технічних систем, а саме систем очищення води.

Існуючі системи очищення з використанням іонообмінних смол вимагають значних витрат матеріалів, реагентів, а також води. Їх робота пов'язана із скидами в навколишнє середовище великої кількості засолених стоків.

Аналіз нових технічних рішень показує, що значне покращення економічних та екологічних показників роботи устаткування по очищенню води може бути досягнуте за рахунок впровадження зворотноосмотичного знесолення води.

В той же час багато питань остаються невирішеними. Перш за все це стосується вибору систем попереднього очищення води перед мембранними технологіями. Мембранні технології є досить чутливими до забруднення речовинами малого ступеню дисперсності. При надходженні на зворотноосмотичні модулі недостатньо підготовленої води мембрани піддаються забрудненню. Це супроводжується зниженням продуктивності зворотноосмотичних модулів, збільшенням перепаду тиску на модулях, а також зниженням селективності мембран. Найбільш розповсюдженими типами забруднень мембран є карбонат кальцію, гідроксид магнію, гіпс, сполуки заліза та важких металів, органічні сполуки, а також сполуки кремнієвої кислоти.

При використанні поверхневих та підземних вод (включаючи шахтні води) значною проблемою є забруднення мембран сполуками карбонату кальцію. Як відомо мембрани є неселективними по відношенню до вуглекислого газу, який знаходиться в рівноважному стані з карбонатом кальцію в воді, яка поступає на очищення. При концентруванні води в розсільному контурі зворотноосмотичного модулю відбувається зміна рівноваги в системі



в праву сторону внаслідок збільшення концентрації кальцію та гідрокарбонатних іонів, а також переходу розчиненої вуглекислоти в перміат.

Небезпека забруднення мембран звичайно оцінюється по індексу насичення Ланжельє для прісних і солонуватих вод та індексу стабільності Стіфа та Девіса для морських вод.

Ступінь концентрування визначається по рівнянню:

$$K = \frac{1}{1-y}, \quad (1)$$

де  $y$  – доля конверсії води, яка поступає на очищення, в знесолену (з деякою похибкою прийнята селективність мембран 100%).

Концентрація кальцію, магнію, барію, стронцію, сульфатів, кремнієвої кислоти та фторидів в розсільному контурі визначається як добуток вхідної концентрації на коефіцієнт концентрування. Концентрація гідрокарбонат-іонів в розсільному контурі  $\text{HCO}_3^-$  (мг/л) визначається по формулі (2):

$$\text{HCO}_{3\text{P}} = \text{HCO}_{3\text{П}} \left[ \frac{1 - y(\text{П}_{\text{HCO}_3})}{1 - y} \right], \quad (2)$$

де  $\text{HCO}_{3\text{П}}$  – концентрація гідрокарбонат-іонів в воді, яка поступає на очищення, мг/л;  $\text{П}_{\text{HCO}_3}$  – “проскок” гідрокарбонат-іонів в перміат в долях від початкової концентрації.

Ланжельє запропонував формулу для визначення  $\text{pH}_\text{Н}$  ( $\text{pH}$  насиченого розчину карбонату кальцію), при якому настає рівновага між долею карбонату кальцію, який поступає в розчин, та карбонату кальцію, який випадає в осад. Ця формула широко використовується понині та виведена з урахуванням другого ступеню дисоціації вугільної кислоти ( $K_2$ ), а також добутку розчинності  $\text{CaCO}_3$  (ДР)

$$\text{pH}_\text{S} = \log \frac{\text{ДР}}{K_2} - \log (\text{Ca}^{2+}) - \log (\text{HCO}_3) = \text{p}(\text{Ca}^{2+}) + \text{p}(\text{HCO}_3) + \text{C} \quad (3)$$

Приймається, що при  $\text{pH} < 8,5$  концентрація бікарбонат-іону дорівнює лужності води по метил оранжевому індикаторові.

Індекс насичення Ланжельє знаходиться як різниця між  $\text{pH}$  розсолу та  $\text{pH}_\text{S}$

$$\text{ІН} = \text{pH}_\text{р} - \text{pH}_\text{S} \quad (4)$$

$$\text{pH}_\text{р} = 6,3 + \log R_\text{р} \quad R_\text{р} = \frac{\text{HCO}_{3\text{P}}}{\text{CO}_2} \quad (5)$$

Якщо при експлуатації зворотноосмотичного обладнання інгібітори утворення осаду (наприклад, гексаметафосфат натрію) не використовується, то ІН повинен бути від’ємним. При використанні інгібіторів накипоутворення ІН розсолу може мати позитивне значення до +1 і навіть до 2,3 для деяких досить ефективних інгібіторів. Експлуатація зворотноосмотичного обладнання при позитивних ІН дозволяє скоротити витрати кислоти на підкислення вхідної води та покращити якість перміату.

Для зменшення витрат кислоти на великих установках при високих рівнях гідрокарбонатної лужності води використовують пом’якшення води вапном. Це значно ускладнює технологію та культуру виробництва. При зміні цін на вапно та сірчану кислоту (вони в перерахунку на кг-моль реагенту майже зрівнялись) більш доцільною технологією попередньої підготовки води є її очищення в водень-катіонітних фільтрах з використанням карбоксильних катіонітів. Ці катіоніти майже незалежно від мінералізації води поглинають з неї двухвалентні катіони жорсткості (Ca, Mg) еквівалентно лужності води. Для відкритих систем (при вільному видаленні вугільної кислоти), до яких може бути віднесений контур розсолу через відсутність селективності по вугільній кислоті, швидкість утворення осаду прямо пропорційна добутку концентрацій кальцію на квадрат лужності, тому для запобігання утворення осаду в розсільному контурі необхідно, щоб:

$$(\text{Ca} - \Delta\text{Л}) (\text{Л} - \Delta\text{Л})^2 < I_\text{К}, \quad (6)$$

де Ca – концентрація катіонів кальцію в воді, яка поступає на очищення, ммоль/л; Л – лужність води, яка поступає на очищення, ммоль/л;  $\Delta\text{Л}$  – зниження лужності фільтрату (визначається методом ітерацій чи шляхом розкриття рівняння та знаходження першої похідної від розкритого рівняння), ммоль/л;  $I_\text{К}$  – допустимий карбонатний індекс контуру розсільного контуру, (ммоль/л)<sup>3</sup> – вибирається залежно від наявності інгібіторів корозії, іонної сили розчину (мінералізації води, яка поступає на очищення) та ступеню конверсії у.

Використання попереднього очищення води на карбоксильному катіоніті дозволяє значно зменшити витрати сірчаної кислоти, покращити якість перміату та екологічні показники комбінованих технологій очищення води.

## ЗАЯВКА НА ДОПОВІДЬ

на XXI Всеукраїнську наукову конференцію аспірантів і студентів  
«Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних  
ресурсів»

<b>ВНЗ</b>	Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ "Донецький національний технічний університет"
<b>Секція</b>	3 – Очистка стічних вод
<b>Назва доповіді</b>	Забезпечення стабільної експлуатації зворотноосмотичних систем очищення води
<b>Автори доповіді-студенти</b> (ІПБ, курс, група, факультет, кафедра)	<i>Беседа Марія Борисівна</i> <i>Михайліна Анастасія Сергіївна</i> 5 курс, група ЕНС-10 спец Факультет "Автомобільні дороги" Кафедра «Екологія та безпека життєдіяльності»
<b>Науковий керівник</b> (вчене звання, науковий ступінь, посада, факультет, кафедра)	<i>Фаткуліна Ганна Василівна</i> старший викладач Факультет "Автомобільні дороги" Кафедра «Екологія та безпека життєдіяльності»
<b>Адреса</b> для листування	84646, м. Горлівка, вул. Кірова, 51
<b>Телефони</b> для спілкування	(0624)552406
<b>E-mail</b>	kafedraekologii@yandex.ru

Беседа Марія Борисівна  
Міхайліна Анастасія Сергіївна  
Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ "ДонНТУ"  
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАБІЛЬНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗВОРОТНООСМОТИЧНИХ  
СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ  
Науковий керівник: ст. викладач Г.В.Фаткуліна