

УДК 38.761:628.1

Фаткуліна Г.В., аспірантка

АДІ ДонНТУ, м. Горлівка

ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ РОБОТИ ЗВОРТНЬООСМОТИЧНИХ УСТАНОВОК

Наведено основні результати дослідження впливу технологічних параметрів (тиск, температура, концентрація солі у вихідній воді, частка виходу перміату) на роботу зворотньоосмотичного устаткування. Ці дані дозволяють вибрати оптимальний варіант побудови технологічної схеми.

Постановка проблеми

У сучасних умовах раніше широко розповсюджені іонітні технології очищення води витісняються технологіями з використанням мембранних процесів. Перевагами останніх є практично повне виключення споживання реагентів та, відповідно, різке зниження маси солей, що скидають у поверхневі водойми. Проте при використанні мембранних методів виникають деякі проблеми. Це викликає необхідність спостереження за технологічними параметрами роботи мембранних апаратів.

Мета роботи

Метою роботи є визначення впливу технологічних параметрів роботи зворотньоосмотичних установок на якість вихідної води. Важливим фактором є також визначення необхідної схеми підключення модулів.

Викладення основного матеріалу

Головними параметрами роботи зворотньоосмотичних мембран є витрата перміату та витрата концентрату ($л/(м^2 \cdot год)$). На них головним чином впливають наступні фактори: тиск, температура, частка виходу перміату, концентрація солей у вихідній воді.

На графіках показано вплив кожного із цих параметрів за умови, що інші три параметри залишаються незмінними. На практиці ж звичайно відбувається накладення ефектів від двох або більше параметрів. Не слід також забувати, що деякі важливі параметри не можуть бути визначені під час роботи мембрани. З рис. 1 видно, що зі збільшенням ефективного тиску збільшиться вихід перміату, але його солеміст також збільшиться.

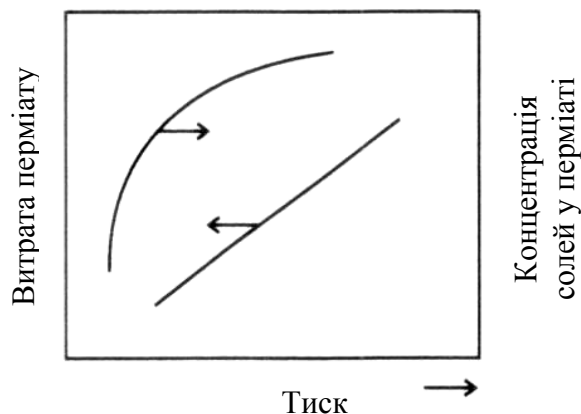


Рис. 1. Залежність ефективності фільтрації від тиску

У випадку збільшення температури збільшується вихід перміату та проскок солей у перміат (рис. 2).

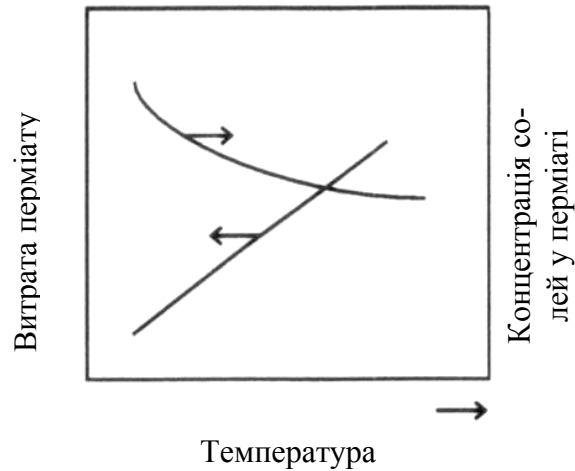


Рис. 2. Залежність ефективності фільтрації від температури

Вихід перміату – це відношення витрати перміату до витрати поступаючої на очищення води. При збільшенні виходу перміату витрата перміату почне зменшуватися й згодом вихід перміату припиниться. Це обумовлено тим, що концентрація солі досягне такої величини, що осмотичний тиск дорівнюватиме прикладеному тиску. Зі збільшенням частки виходу перміату підвищується проскок солей у перміат (рис. 3).

На рис. 4 показано вплив концентрації солей у вихідній воді на вихід перміату та проскок солей у перміат.

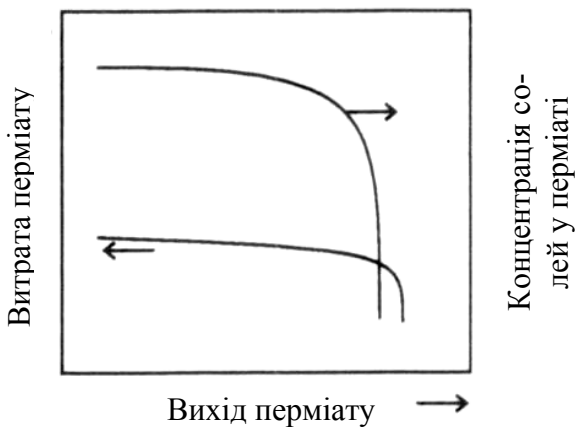


Рис. 3. Залежність ефективності фільтрації від частки виходу перміату

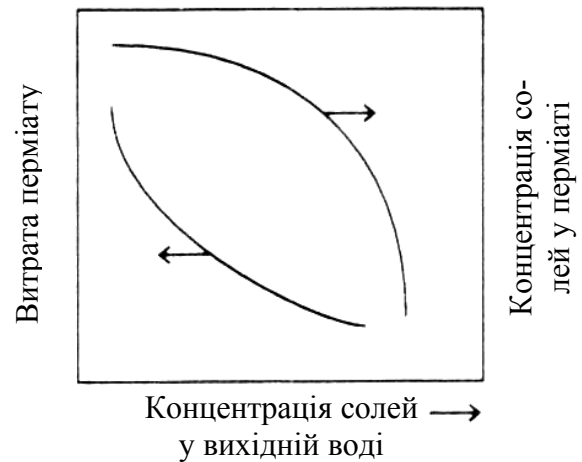


Рис. 4. Залежність ступеня очищення води від концентрації солі у вихідній воді

Істотною перевагою методу зворотнього осмосу є те, що розділення розчинів відбувається без фазових перетворень і енергія в процесі розділення здебільшого витрачається на створення тиску над розчином та його продавлювання крізь мембрану:

$$A = A_c + A_{np},$$

де A_c – робота, яка витрачається на стискування рідини, МДж;

A_{np} – робота, яка витрачається на продавлювання рідини, МДж.

Робота A_c на стискування рідини, що практично не стискується, є малою і нею можна знехтувати. Робота A_{np} на продавлювання рідини обчислюється за формулою:

$$A_{np} = \Delta P V,$$

де ΔP - перепад тиску на мембрані, МПа;

V – об'єм рідини, що продавлюється крізь мембрану.

Легко переконатись, що робота продавлювання 1 м^3 води за тиску 5 МПа становить близько $4,9 \text{ МДж}$ ($1,36 \text{ кВт}\cdot\text{год}$). Для порівняння зазначимо, що робота випаровування 1 м^3 води (за теплоти пароутворення 2260 кДж/кг) становить 2270 МДж ($630 \text{ кВт}\cdot\text{год}$). Слід враховувати, що робота продавлювання значною мірою залежить від товщини і структури селективного шару мембрани. Сучасні асиметричні композиційні мембрани мають тонкі та ультратонкі (до $0,1 \text{ мкм}$) селективні шари, що дають змогу істотно знизити робочі тиски до $1,5 - 2,5 \text{ МПа}$ при збереженні потужності ($50 - 100 \text{ л}\cdot\text{м}^2/\text{год}$) на рівні класичних зворотньоосмотичних мембран, які працюють за тисків $5 - 10 \text{ МПа}$.

Важливою перевагою методу зворотного осмосу, як і інших баромембранних процесів, є простота конструкції установок, що складаються з двох основних елементів: мембранних модулів і насосного обладнання. Ще однією перевагою баромембранних процесів є те, що вони відбуваються за температури навколишнього середовища, що має винятково важливе значення при розділенні термолабільних розчинів.

Основними технологічними параметрами, що впливають на об'ємний потік і затримання речовин при їх барометричному розділенні, є робочий тиск, температура, природа і концентрація розчинених речовин, концентраційна поляризація, гідродинамічні умови в мембранному апараті, а також тривалість експлуатації мембран.

Під дією високого робочого тиску (до $5 - 10 \text{ МПа}$) на полімерні мембрани відбуваються значні і незворотні їх деформації. У разі зняття тиску товщина і порова структура мембран знижує проникність і підвищує затримувальну здатність мембран. Уповільнене, але безперервне зниження проникності мембран внаслідок усадки під тиском відбувається впродовж усього періоду експлуатації мембран.

За критерій, що характеризує величину незворотньої деформації мембран, можна взяти площу петлі гістерезису, що описується кривою $J_v = f(\Delta P)$ при поступовому збільшенні ΔP , а потім зміною тиску у зворотній послідовності.

На підставі численних експериментальних даних, одержаних під час дослідження мембран на основі похідних целюлози, були запропоновані емпіричні рівняння, які пов'язують вплив робочого тиску на проникність та затримувальну здатність полімерних зворотньоосмотичних мембран:

$$J_v = b_1 + b_2 \ln P;$$

$$R_3 = \frac{a_1 P}{a_2 P + 1},$$

де a_1 , a_2 , b_1 , b_2 – емпіричні коефіцієнти для даної системи "мембрана–розчин".

Рівняння, кожне з яких має лише два невідомих коефіцієнти, дають змогу за двома експериментальними точками передбачити J_v і R_3 практично в усьому діапазоні робочих тисків.

Для різних мембран величини R та a не збігаються, що вказує на їхню залежність від розподілу та діаметру пор мембрани. Крім того, коефіцієнт R залежить також від індивідуальних властивостей розчиненої речовини.

Для мембран швидкість процесу фільтрування спочатку зростає при підвищенні робочого тиску, але згодом стабілізується незалежно від прикладеного тиску, що є наслідком гелеутворення на поверхні мембрани. За досить високої швидкості потоку над мембраною концентрація розчину в об'ємі залишається сталою. У цьому разі товщина примембранного

шару речовини і профіль концентрацій у ньому також є практично сталими. Якщо об'ємний потік крізь мембрану зростає завдяки збільшенню робочого тиску до такої величини, що на поверхні мембрани утвориться гель, то концентрація речовини не залежатиме від робочого тиску і залишиться сталою. Причому затримування мембраною також може бути незмінним, але воно досить часто зростає внаслідок ефекту самозатримування селективним шаром.

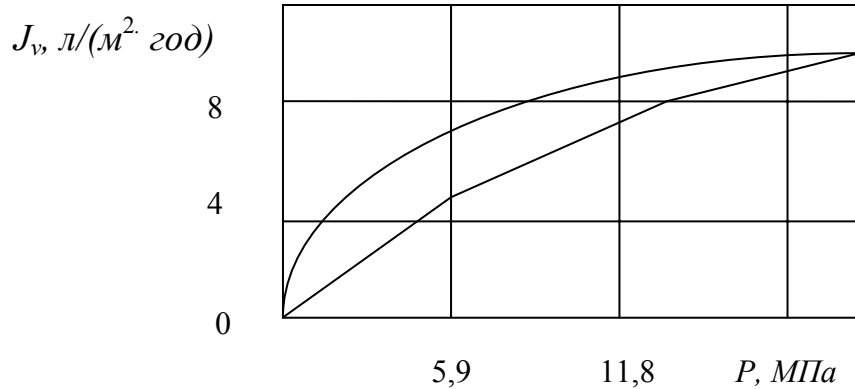


Рис. 5. Вплив тиску на проникність мембрани

З підвищенням температури розчину проникність мембрани зростає обернено пропорційно в'язкості рідини. Однак для полімерних мембран, які здатні розм'якшуватися при підвищенні температури до певного її значення, зафіксовано зниження і навіть падіння їхньої проникності до нуля, що пояснюється прискореною усадкою, течією матеріалу мембрани і повним руйнуванням її порової структури.

Концентрація розчинених речовин є основним із чинників, що визначають не лише характеристики мембранних процесів, а й саму можливість їхнього проведення.

Збільшення концентрації розчинених речовин спричиняє підвищення осмотичного тиску розчину, що зменшує ефективну рушійну силу процесу, а також, як правило, зростання в'язкості розчину, що викликає зниження проникності. Зі збільшенням концентрації розчину зменшуються товщина шару води, зв'язаної з поверхнею мембрани, ступінь гідратації іонів та молекул, що також спричиняє зниження затримування розчинених речовин. Внаслідок підвищення концентрації розчину на мембранах можуть швидко утворюватись осади мало-розчинних солей або гелевий шар високомолекулярних речовин, що зумовлює значне зниження проникності мембрани.

На рис. 6 наведено загальний вигляд залежності затримування мембраною солі від концентрації розчинів електролітів при їх зворотноосмотичному розділенні. Як видно з цього рисунку, до концентрації розчину електроліту 10^{-3} моль/л затримування зростає (ділянка 1), потім до концентрації 1 – 5 моль/л залишається сталим (ділянка 2) і, нарешті, в разі подальшого зростання концентрації затримування мембраною зменшується (ділянка 3).

Отже, зворотній осмос можна ефективно використовувати для концентрацій електролітів 5 – 10% (однорядні іони), 10 – 15% (двозарядні іони) і 15- 20% (багатозарядні іони). Для молекулярних розчинів органічних речовин ці інтервали дещо ширші.

Природа розчинених речовин визначально впливає на затримувальну здатність і меншою мірою на проникність мембран.

Питання впливу природи розчинених речовин досить складне і значною мірою залежить від механізму мембранного процесу.

Найвні експериментальні дані дають змогу емпірично сформулювати такі основні принципи впливу природи розчинених речовин на їх затримування мембраною:

- 1) неорганічні речовини затримуються краще, ніж органічні з однаковою молекулярною масою;
- 2) серед гомологів краще затримуються речовини з більшою молекулярною масою;

3) речовини, що утворюють специфічні зв'язки з поверхнею мембрани, затримуються тим краще, чим слабкіша ця взаємодія.

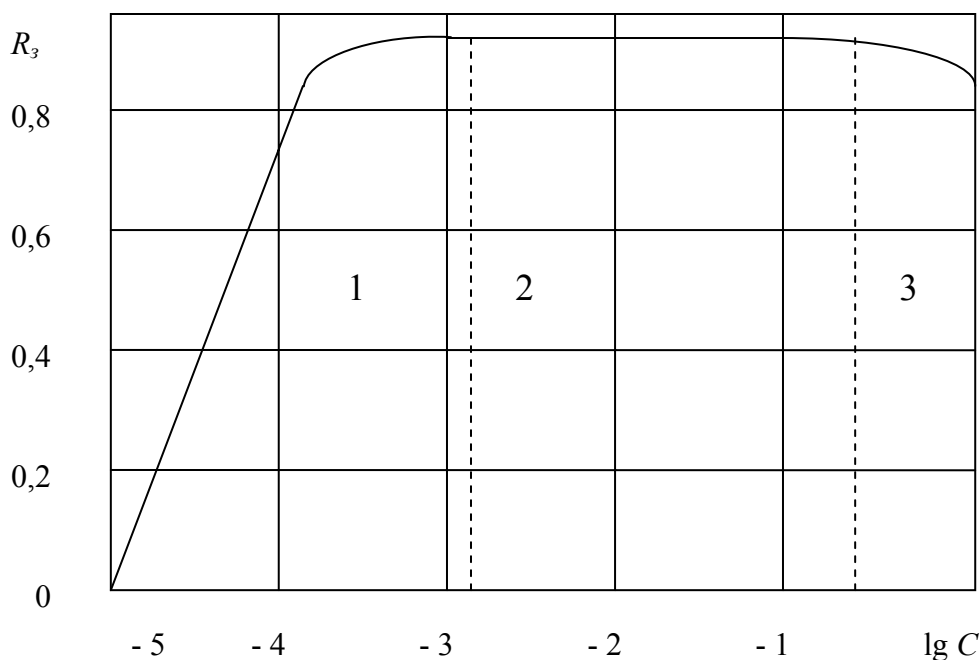


Рис. 6. Залежність затримування солі мембраною від її концентрації

Концентраційна поляризація – це явище підвищення концентрації розчину в тонкому примембранному шарі внаслідок того, що швидкість підведення речовини, що міститься в розчині, вища за коефіцієнт її дифузії.

Товщина пристінного шару пропорційна швидкості потоку:

$$\delta \cong \frac{1}{V^n},$$

де V – швидкість потоку, m/c ;

n – показник змінюється від 0,5 – 1 в залежності від режиму потоку.

При цьому розчин постійно збіднюється на розчинник, який проникає крізь мембрану. Явище концентраційної поляризації завжди негативно впливає на затримувальну здатність і проникність речовин крізь мембрану з таких основних причин:

- 1) зменшується ефективна величина рушійної сили процесу;
- 2) внаслідок утворення осадів малорозчинних солей і селєвих шарів знижується проникність і скорочується термін експлуатації мембран.

Виникнення і товщина пограничного концентраційного шару значною мірою пов'язані з гідродинамічними умовами в потоці над мембраною. Чим більші швидкість потоку і його турбулентність, тим менші товщина концентраційного шару біля поверхні мембрани і негативні наслідки явища концентраційної поляризації для мембранного процесу.

Ступінь концентраційної поляризації визначається за формулою:

$$K_p = K_m e^{\frac{Q_p}{Q_f}},$$

де K_m – коефіцієнт, який залежить від геометрії каналу між мембранами і відповідно типів спейсерів;

Q_p – витрата потоку очищеної води (перміату), що проходить крізь мембрани, $m^3/год$;

Q_f – витрата потоку води, що подається на очистку, $m^3/год$.

Підключення апаратів може бути здійснено за схемами на рис. 7.

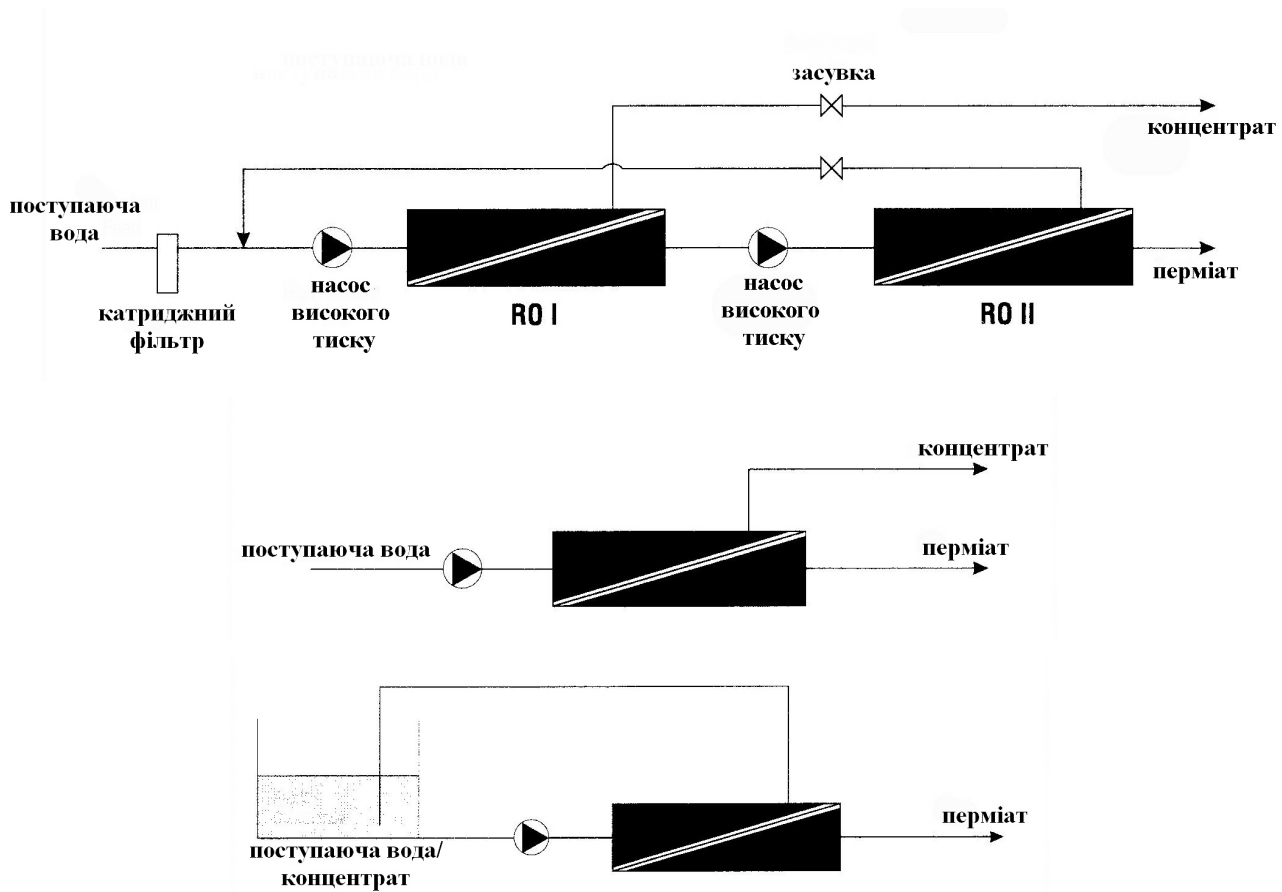


Рис. 7. Схеми підключення апаратів

Для ефективного процесу концентрування співвідношення розчину, що рециркулюється, по відношенню до кількості поступаючої води повинно складати 1:1.

Висновки

1. Підвищення продуктивності устаткування може бути досягнуто за рахунок збільшення тиску, однак при цьому виникає крип мембран, що викликає їх усадку.
2. Для одержання глибокознесоленої води раціональніше на останній ступені використовувати фільтри змішаної дії.
3. Враховуючи те, що мембрани мають високу вартість, треба організувати моніторинг параметрів роботи зворотньоосмотичних установок.

Список літератури

1. Высоцкий С.П. Мембранная и ионитная технологии водоподготовки в энергетике.– К.: Техника, 1989. – 176 с.
2. Брик М.Т. Питна вода і мембранні технології (огляд): Наукові записки / Національний ун-т "Києво-Могиланська академія". – К., 2000. – Т.18. Хімічні науки. – С. 4–24.

Стаття надійшла до редакції 27.04.07
© Фаткуліна Г.В., 2007