

Візуалізація траєкторії руху пилових частинок дозволяє оптимізувати конструкцію апарату.

На основі результатів комп'ютерних досліджень передбачається експериментальне дослідження найбільш вдалих конструкцій апаратів.

1. *SolidWorks*. Компьютерное моделирование в инженерной практике / Авторы: Алямовский А. А., Собачкин А. А., Одинцов Е. В., Харитонович А. И., Пономарев Н. Б. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 800 с.: ил.

ОПТИМІЗАЦІЯ ДВОСТАДІЙНОЇ ЗВОРОТНЬООСМОТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ДЕМІНЕРАЛІЗАЦІЇ МОРСЬКОЇ ВОДИ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

Квітка О.О., Малецький З.В., Тарасюк В. А.

Національний технічний університет України «КПІ», Vitaminka_c@meta.ua

В сучасному світі однією з глобальних проблем є постійне скорочення запасів прісної води, тому задача отримання додаткових водних ресурсів, в першу чергу, за рахунок опріснення морської води, є дуже актуальною. Це стосується також і частини південних регіонів України. Опріснення морської води передбачає зниження загального вмісту розчинених твердих речовин до концентрації, меншої ніж 200 мг/л. Це дозволяє застосовувати дану воду для потреб промисловості. Найбільш перспективними для опріснення морської води є мембранні технології, які складають на сьогодні 44% світових потужностей по демінералізації морської води.

В даній роботі розглянуто двостадійну зворотньоосмотичну мембранну установку для демінералізації морської води (рис.1).

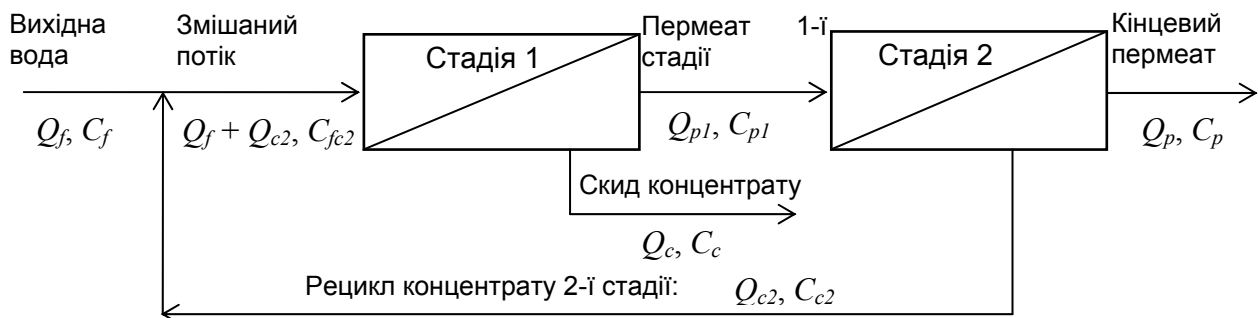


Рис. 1 – Принципова схема двостадійної системи демінералізації води

Для опису процесів, що відбуваються на мембрані, використано модель дифузійну модель Кімури–Соуріаджана [1], яка описується наступними основними рівняннями:

$$Q_p = F_e \cdot a(\pi_c) \cdot FF \left(\Delta P - \pi_f - \left[\frac{C_{fc}}{C_f} \cdot p_f - (1 - R) \right] \right), \quad (1)$$

$$a(\pi_c) = \begin{cases} 0.125, & \pi_c = 25 \\ 0.125 - 0.011 \cdot \left(\frac{\pi_c - 25}{35} \right), & 25 \leq \pi_c \leq 200 \\ 0.07 - 0.0001 \cdot (\pi_c - 200), & 200 \leq \pi_c \leq 400 \end{cases} \quad (2)$$

$$\Delta P = P_f - \frac{\Delta P_{fc}}{2} - P_p, \quad (3)$$

$$\Delta P_{fc} = 0.04 \cdot \left(\frac{Q_f - Q_c}{2} \right)^2, \quad (4)$$

$$\frac{C_{fc}}{C_f} = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{1 - Y \cdot (1 - R)}{1 - Y} \right), \quad (5)$$

$$p_f = \exp(0.7 \cdot Y), \quad (6)$$

$$\pi_f = 1.12 \cdot (273 + T) \cdot \sum m_i, \quad (7)$$

$$\pi_c = \pi_f \cdot \frac{C_{fc}}{C_f} \cdot p_f, \quad (8)$$

$$\pi_p = \pi_f \cdot (1 - R), \quad (9)$$

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f}, \quad (10)$$

$$Y = 1 - (1 - Y_i)^N, \quad (11)$$

$$C_p = b \cdot C_{fc} \cdot p_f \cdot \frac{N_e \cdot F_e}{Q_p}, \quad (12)$$

де Q_p – витрата пермеата на виході з системи, $\text{кг}/200\text{д}$; F_e – площа мембранного елемента, м^2 ; $a(\pi)$ – коефіцієнт проникності по воді, $\text{м}^3/\text{Па} \cdot 200\text{д}$; ΔP – робочий тиск, Па ; ΔP_{fc} – перепад тиску, Па ; C_f – концентрація вхідного потоку, кг солей на кг розчинника; p_f – концентраційна поляризація; π_f – осмотичний тиск, Па ; π_c – перепад осмотичного тиску з боку концентрату, Па ; π_p – перепад осмотичного тиску з боку пермеату, Па ; R – коефіцієнт солезатримки, %; Y – коефіцієнт конверсії води, %; C_p – концентрація вихідного потоку пермеату, кг солей на кг розчинника.

Модель дозволяє описати процес на рівні мембранного елемента та отримати всі необхідні дані для вихідного потоку ґрунтуючись на параметрах вхідного потоку та даних для тих чи інших мембран, що надаються виробником [2].

Система матеріальних балансів, що описує досліджувану систему, має вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_f = Q_c + Q_{p1} \\ Q_{p1} = Q_{c2} + Q_p \\ Q_f \cdot C_f = Q_c \cdot C_c + Q_{p1} \cdot C_{p1} \\ Q_{p1} \cdot C_{p1} = Q_{c2} \cdot C_{c2} + Q_p \cdot C_p \\ Q_f \cdot C_f + Q_{c2} \cdot C_{c2} = (Q_f + Q_{c2}) \cdot C_{fc2} \\ \frac{Q_{c2}}{Q_{p1}} = \left(\frac{C_{c2}}{C_{p1}} \right)^{-1/R} \\ Q_p = Y \cdot Q_f \end{array} \right. \quad (13)$$

Кожна стадія системи може мати різну кількість секцій, які складаються з модулів, що з'єднуються по паралелі. В межах секції модулі можуть мати різну кількість мембранних елементів (не більше шести). В межах стадії використовуються однакові мембранні елементи, але використання більш дешевих елементів на другій стадії системи дозволяє зекономити кошти.

Оптимізація зворотньоосмотичної системи включає в себе структурну оптимізацію кожної окремої стадії процесу з врахуванням особливостей кожної секції, кількість елементів в яких може бути різною, та оптимізацію експлуатаційних параметрів.

Метою оптимізації є оптимальна вартість пермеату на виході системи. Цільова функція може бути визначена як сума капітальних та поточних (експлуатаційних) витрат з врахуванням строку експлуатації установки. Капітальні витрати залежать від структури та застосовуваних в системі типів елементів, на що, у свою чергу, впливає концентрація вихідного потоку, та визначаються вартістю і кількістю мембранних елементів та мембранотримачів в системі. А поточні витрати складаються з витрат на електроенергію та вихідну воду та коштів на утримання мембран. Функція, що визначає приведені витрати однієї стадії, може бути представлена наступним чином:

$$Z = \frac{0.33 \cdot C_{ME} + C_{MT} + 0.1 \cdot C_{OM} + C_{EE} + C_{BB}}{Q_p}, \quad (14)$$

де

$$C_{ME} = N_e \cdot c_{el} = \sum_{i=1}^N (n_i \cdot m_i) \cdot c_{el}, \quad (15)$$

$$C_{MT} = N_M \cdot c_{mm} = \sum_{i=1}^N n_i \cdot c_{mm}, \quad (16)$$

$$C_{OM} = N_e \cdot c_{om} = \sum_{i=1}^N (n_i \cdot m_i) \cdot c_{om}, \quad (17)$$

$$C_{EE} = W \cdot c_{ee} \cdot 8400 = Q_f \cdot \frac{P_f}{\eta \cdot 36} \cdot c_{ee} \cdot 8400, \quad (18)$$

$$C_{BB} = Q_f \cdot c_{66} \cdot 8400, \quad (19)$$

де Q_p – продуктивність установки по пермеату, m^3/pik ; W – потужність насоса, kBm ; N_e – кількість елементів стадії; N_M – кількість мембранотримачів стадії; N – кількість підстадій у стадії; m_i – кількість послідовно з'єднаних елементів в модулі i -ої підстадії; n_i – кількість паралельно з'єднаних модулів у підстадії; c_{el} – приведена вартість мембранного елемента, $\$/pik$; c_{mm} – приведена вартість мембранотримача, $\$/pik$; c_{ee} – вартість електроенергії, $\$/kBm \cdot год$; c_{om} – вартість обслуговування мембран, $\$/pik$; c_{66} – вартість сирової води, $\$/m^3$.

Отже, задача оптимізації може бути представлена наступним чином:

$$\min Z(Q_f, m_i) = \frac{0.33 \cdot C_{ME} + C_{MT} + 0.1 \cdot C_{OM} + C_{EE} + C_{BB}}{Q_p}. \quad (20)$$

При обмеженнях:

$$\begin{cases} 1 \leq m_i \leq 6 \\ C_p(Q_f, m_i) \leq C_{p \max}, \quad i = 1, \dots, N. \\ Q_f \cdot \frac{Y_i(m_i)}{100\%} = Q_p \end{cases} \quad (21)$$

Як видно з постановки задачі, цільова функція є нелінійною; параметри оптимізації можуть приймати дискретні значення (кількість елементів – цілочислові параметри) та неперервні (витрата вхідного потоку та відсоток концентрату, що йде на рецикл – раціональні параметри). Це дозволяє класифікувати поставлену задачу як задачу цілочислового нелінійного математичного програмування (ЦНЛП).

Таблиця 1 – Результати розрахунків системи з використанням мембран SW30HRLE-400i

<i>Витрати пермеату, $Q_p, \text{м}^3/\text{год}$</i>	<i>Концентрація вихідного потоку, $C_f, \text{г/л}$</i>	<i>Обмеження на концентрацію пермеату, $C_p, \text{г/л}$</i>	<i>Уточнена концентрація пермеату, $C_p, \text{мг/л}$</i>	<i>Кількість мембранних елементів</i>
200	10	< 80	77.79	122
200	12	< 100	93.96	98
200	15	< 130	121.45	102

Для розв'язання задачі був використаний метод генетичних алгоритмів [3]. Приклад результатів розрахунків для системи з продуктивністю по пермеату 200 м³/год при використанні морської води з загальним солевмістом 10–15 г/дм³ наведений в табл. 1. Отримані результати показали, що собівартість системи можна зменшити більш ніж на 10%, порівняно з аналогічною існуючою установкою, що свідчить про ефективність застосування даного методу.

1. Kimura S. Analysis of data in reverse osmosis with porous cellulose acetate membranes used / S. Kimura, S. Sourirajan // AIChE J. – 1967. – Vol. 13 – p. 497–503.
2. FILMTEC Reverse osmosis membranes: Technical Manual; Dow Liquid Separations – 2004. – 179 с.
3. Guria C., Bhattacharya K., Gupta K. Multi-objective optimization of reverse osmosis desalination units using genetic algorithm. Computers and Chemical Engineering 29 – 2005 – 14 с.

ОПТИМІЗАЦІЯ ОПРІСНЕННЯ МОРСЬКОЇ ВОДИ МЕТОДОМ ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ З ПОВТОРНИМ ВИКОРИСТАННЯМ МІСЬКИХ СТІЧНИХ ВОД

Малецький З.В., Мітченко Т.Є., Квітка О.О.

Національний технічний університет України «КПІ», mail@zahar.info

Нестача питної води є одним із чинників, які викликають нестійкість людського розвитку. Вона посилюється із зростанням населення і, відповідно до прогнозів ООН та ВООЗ, ситуація не стане стабільною без застосування цілеспрямованих дій [1]. Враховуючи, що 96,5% світових запасів води знаходяться в морях і океанах з загальним солевмістом (ЗСВ) 30–45 г/л, проблема отримання прісної води з морської є вкрай актуальною. На цьому тлі мембранні технології опріснення морської і солонуватої води викликають величезний інтерес, особливо в посушливих прибережних зонах. Але високе споживання енергії залишається основним недоліком технології зворотного осмосу (ЗО) і сильно впливає на ціну опрісненої води.

На даний час для знесолення морської води широкого розповсюдження набули зворотньоосмотичні технології, засновані на застосуванні мембран низької проникності типу SW (SWRO) і насосів високого тиску з рекуперацією енергії [2], які забезпечують можливість зниження мінералізації морської води з вихідним ЗСВ ~ 40 г/дм³ до значень ~ 100 – 500 мг/дм³ в одну стадію. З економічної точки зору найбільш вразливим місцем такої технології є велика витрата електроенергії, в основному споживаної насосами високого тиску, а також значні капітальні та експлуатаційні витрати, зумовлені високою вартістю мембран типу SW. Як було показано раніше [3], використання для знесолення морської води, змішаної з міськими стічними водами меншого ЗСВ, мембранних елементів (МЕ) високої і середньої проникності (BW, LE, NF), замість традиційних SW, дозволяє суттєво знизити собівартість пермеату.

В даній роботі розглянуто розв'язання вказаної задачі на прикладі опріснення води Середземного моря (ЗСВ 37 г/л), розбавленої в різних співвідношеннях міськими стічними