

4. Корнієнко Я.М., Сачок Р.В. Процеси переносу в дисперсних системах: Навчальний посібник. – Київ, 2011 – 132с.

УДК 66.081.63

## ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ РЕГЕНЕРАЦІЇ РУЛОНОВАНИХ МЕМБРАННИХ МОДУЛІВ

Корнієнко Я.М., д.т.н., проф., Гуліско С.В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

Представлено опис фізичної моделі регенерації рулонованих мембраних модулів знесоленою водою та доступними та екологічно безпечними розчинниками. Обґрунтовані процеси, що протікають на кожній стадії регенерації. Модель пояснює отримані раніше експериментальні результати.

The description of physical model of spiral wound membrane modules regeneration using desalinated water and availables and environmentally acceptables solvents is represented. The processes which carried in each stage of regeneration are described. The model explains the experimental results which obtained early.

**Ключові слова:** мембрана, рулонований модуль, концентраційна поляризація, регенерація, кек.

### Вступ

За останні десятиріччя масштаби використання мембраних процесів, в першу чергу зворотній осмос та нанофільтрація, в системах підготовки питної води, а при підготовці води для технічних потреб, зросли в декілька разів. Але ефективність роботи та економічні показники мембраних процесів знижують поляризаційні явища та утворення осадів забруднень [1, 2]. При роботі зворотноосмотичних та нанофільтраційних модулів мембраних модулів крізь мембрани проникає переважно розчинник, тому розчинена речовина, яка не пройшла крізь мембрани накопичується в пограничному шарі біля мембрани – відбувається утворення шару концентраційної поляризації. Це явище не лише погіршує інтенсивність перенесення речовини крізь мембрани, а також, у випадку досягнення в пограничному шарі концентрації насичення, може стати причиною утворення осадів розчиненої речовини на поверхні мембрани [3]. Утворення осадів викликає передчасний вихід мембраничного модуля з ладу, що особливо небезпечно для рулонованих модулів, які завдяки високим значенням питомої поверхні мембрани ( $300\text{--}800 \text{ m}^2/\text{m}^3$  [4]) на разі є найбільш поширеними в промисловості. Через конструктивні особливості таких модулів, усунути шар осаду з поверхні мембрани механічним способом неможливо [3, 4]. В той же час, швидкий вихід з ладу і часта заміна мембраних елементів не лише підвищує вартість отриманого продукту, а й призводить до значних екологічних проблем, пов'язаних з накопиченням твердих полімерних відходів, утилізація яких ускладнена [2].

Отже, питання регенерації рулонованих мембраних модулів є актуальним, оскільки дозволяє підвищити ефективність роботи мембраних установок і знизити техногенний тиск на довкілля.

### Постановка задачі

В попередній роботі [5] були представлені результати експериментальних досліджень регенерації рулонованих мембраних модулів з використанням промивання під розрідженням, які показали, що таким методом можливе підвищення продуктивності відпрацьованого модуля зі збереженням селективності мембрани. Однак, тоді отримані результати пояснювалися явищем гідродинамічної кавітації, яка виникає в потоці промивної рідини. Така гіпотеза описує процеси, які протікають в модулі, не достатньо точні.

Метою даної роботи є теоретичне обґрунтування фізичної моделі регенерації рулонованих мембраних модулів з урахуванням процесів, які протікають в шарі осаду.

### Модель перенесення речовини через мембрани

Потік речовини крізь мембрани можна описати рівнянням,  $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{c})$  [6]:

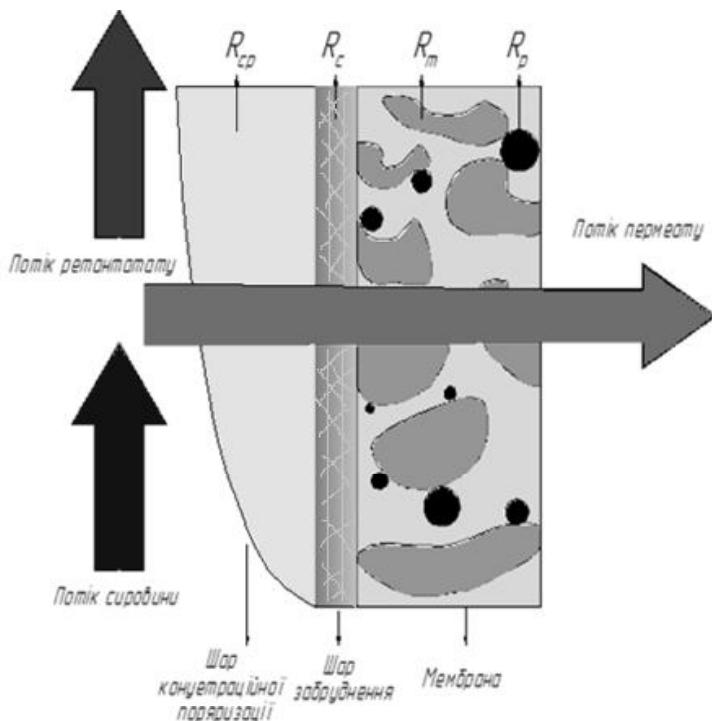
$$J = \frac{\Delta p - \Delta \pi}{\mu R_{OT}} \quad (1)$$

де  $\Delta p$  – робочий перепад тиску, МПа,  $\Delta \pi$  – різниця осмотичних до і після мембрани,  $\mu$  – коефіцієнт динамічної в'язкості,  $\text{Pa} \cdot \text{c}$ ,  $R_{OT}$  – сумарний опір перенесенню,  $\text{m}^3/\text{m}^2$ .

В ідеальному випадку опір перенесенню має чинити лише мембрана, однак в реальних умовах внаслідок поляризаційних та інших явищ виникають додаткові опори, як показано на рис. 1. Тоді сумарний опір можна представити як сумму чотирьох складових:

$$R_{OT} = R_m + R_{cp} + R_c + R_{pb} \quad (2)$$

де  $R_m$  - опір мембрани,  $R_{cp}$  - опір шару концентраційної поляризації,  $R_c$  - опір шару забруднень (опір кеку);  $R_{pb}$  - опір заблокованих пор.



**Рис. 1 – Схема опорів перенесенню через мембрану**

З наведених опорів найбільший внесок в сумарний опір дає опір шару забруднень  $R_c$  (30-60%  $R_{OT}$ ) [7]. Тому продуктивність мембран в першу чергу визначається його величиною, а при регенерації необхідно досягти його зменшення, що і було покладено в основу фізичної моделі.

#### Фізична модель регенерації мембраниного модуля

Оскільки шар забруднень утворюється з розчинених речовин (солей та залишків органічних сполук, які не були усунені на стадіях попередньої обробки), то утворений шар осаду є водорозчинний. Враховуючи конструкцію рулонованих модулів (розміри каналів становлять приблизно  $5 \cdot 10^{-4}$  м та наявність в каналі сітки-сепаратора [3,4]), очевидно, що усунути забруднення можливо лише шляхом переведенням їх в текучий стан. Отже для такої задачі можливо використати процес фізичного розчинення. Однак на поверхні утворених кристалів солі може утворюватися плівка органічного та біологічного походження, яка ізолує поверхню кеку від розчинника, тому для інтенсифікації процесу необхідно порушити її цілісність. При цьому необхідно уникнути механічних чи хімічних пошкоджень активного шару мембрани, що накладає додаткові обмеження на умови проведення процесу, зокрема температура розчину не повинна перевищувати температуру деструкції мембрани, яка становить приблизно  $45^{\circ}\text{C}$ .

Для вирішення цієї проблеми запропонованій спеціальний метод, фізична сутність якого наступна. На першій стадії процесу (рис.2) мембраний модуль занурюється в знесолену воду (загальний солевміст 10 мг/л) протягом 20-30 годин при атмосферному тиску, що дозволяє провести насичення пористої структури кеку рідинкою.

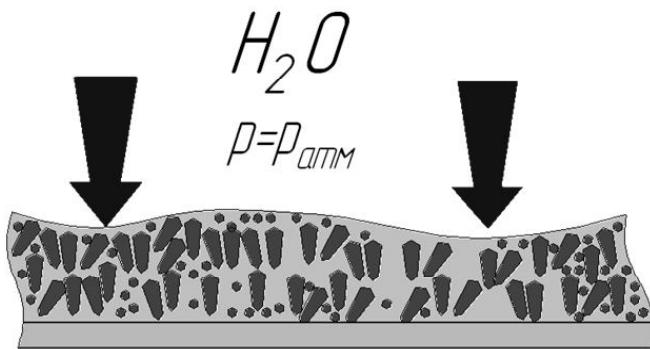


Рис. 2 – Перша стадія регенерації модуля

Після цього проводиться оброблення шару кеку промивним розчином при понижених тисках (абсолютний тиск становив 0,02-0,05 МПа) за температури кипіння – 37-40°C (рис 3). Це призводить утворення парових бульбашок в порах шару кеку, які внаслідок різниці тиску та густини будуть рухатися до ядра потоку (рис. 4), руйнуючи шар органічних речовин та пограничний дифузійний шар навколо кристалів шару осаду. В результаті забезпечується безпосередній контакт осаджених речовин з розчинником, тобто усувається опір перенесенню та інтенсифікується процес. Внаслідок розчинення і повного або часткового вилучення компонентів кеку, буде зменшуватися опір перенесенню через мембрну і, відповідно, зростати продуктивність. Приближний стан кеку після розділення показано на рис. 5.

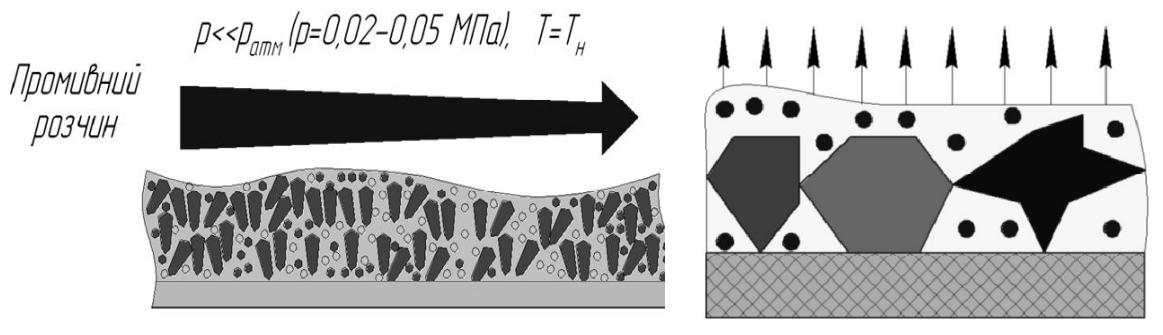


Рис. 3 – Друга стадія регенерації модуля

Рис. 4 – Схема руйнування зв'язків в шарі забрудненні при підйомі парових бульбашок

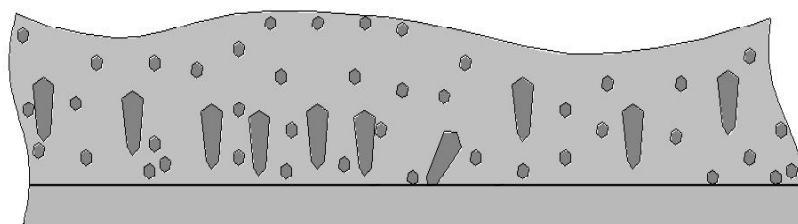


Рис. 5 – Стан шару забруднень після регенерації

Запропонована модель дозволяє пояснити отримані раніше експериментальні результати.

#### Висновки

Запропоновані нові робочі гіпотези щодо підвищення ефективності процесу регенерації з урахуванням конструктивних особливостей рулонованих мембрани та їх фізико-механічних властивостей. Розроблена фізична модель регенерації рулонованих мембраних модулів для зворотного осмосу та

нанофільтрації знесоленою водою та доступними екологічно безпечними розчинниками, яка узгоджується з раніше отриманими експериментальними даними. Теоретичне обґрунтування явищ, які відбуваються при регенерації рулонованих мембраних модулів дозволяють розробити математичну модель процесу.

**Література:**

1. Arras W., Ghaffour N., Hamou A. Performance evaluation of BWRO desalination plant — A case study // Desalination. – 2009. – Vol. 235 – Is. 1-3. – P. 170-178.
2. Trouwenvelder H. Biofouling of spiral wound membrane systems. PhD thesis Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, 2009.
3. Мулдер М. Введение в мембранные технологии: Пер. с англ. М.: Мир, 1999. – 513 с.. ил.
4. Дытнерский Ю. И. Баромембранные процессы. Теория и расчет. — М.: Химия, 1986, 272 с.
5. Корнієнко Я.М. Оцінка ефективності відновлення властивостей рулонованих мембраних модулів з використанням гідродинамічної кавітації / Корнієнко Я.М., Гулієнко С.В // Наукові парці ОНАХТ. – Випуск 41. – Т.1 – с. 142-147
6. Shirazi S., Lin C.-J., Chen D. Inorganic fouling of pressure-driven membrane processes – A critical review // Desalination 250 (2010) p. 236-248
7. Chien-Hwa Yu, Chung-Hsin Wu, Chia-Hung Lin end al. Hydrophobicity and molecular weight of humic substance on ultrafiltration fouling and resistance // Separation and Purification Technologies 64 (2008) 206-212

УДК 661.635.3

## ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ДЕРЖАННЯ НЕОРГАНІЧНИХ ПОЛІМЕРНИХ ФОСФАТИВ НАТРИЮ МЕТОДОМ ТЕРМОДИНАМІЧНОГО АНАЛІЗУ

Гура Д.В., аспірант,  
Черемисінова А.О., канд. техн. наук, асистент,  
Сорока П.Г., д-р техн. наук, професор,  
Стеба В.К., канд. техн. наук, доцент

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»,  
м. Дніпропетровськ

Досліджено процес термічної дегідратації натрію ортофосфату однозаміщеного як вихідної сировини для одержання різних форм полімерних фосфатів. Здійснено комплекс досліджень з розрахунку рівноважного складу цього процесу, визначено вплив тиску, співвідношення масових витрат повітря та вихідної сировини і газового середовища на рівноважний склад системи  $H-Na-N-O-P$ , що досліджується. Виконано порівняльне оцінювання питомих енерговитрат на одиницю цільового продукту.

The process for obtaining various forms of polymeric phosphates by thermal dehydration of sodium phosphate monobasic as feedstock has been studied. The researching complex by the calculation of the equilibrium compound of these process, the influence of a pressure, interrelation of mass flow of air to feedstock and the gas environment on the equilibrium structure of  $H-Na-NOP$  were conducted. Comparative evaluation of specific energy consumption per unit of the product were done.

**Ключові слова:** полімерні фосфати, термічна дегідратація, термодинамічні розрахунки, питомі енерговитрати.

Полімерні фосфати завдяки своїм унікальним властивостям застосовують в різних галузях промисловості, таких як: харчова, косметична, фармацевтична, хімічна, будівельна та інш. В сучасній техніці сфери їх застосування постійно розширюються, що, у свою чергу, обумовлює зростання масштабів виробництва полімерних фосфатів і необхідність вивчення та удосконалення їх властивостей. Орто-і пірофосфати застосовують, як розпушувачі тіста в хлібопеченні, при виготовленні охолоджених сухих сумішей для бісквітів, пончиків і млинців. Приготування ковбас,варених і консервованих окостів не обходить без добавок поліфосфатів або кислих ортофосфатів натрію. Перспективним є використання полімерних фосфатів в сучасних процесах гарячого оброблення металів тиском (обємне