

Рис. 3 – Залежність концентрації ретанту (а) та перміату (б) від тиску

**Висновки:**

Характер змін параметрів ( $L$ ,  $x$ ), що досліджувались для різних робочих тисків знаходять логічне пояснення, величина достовірності апроксимації експериментальних даних не перевищує 5 %, що свідчить про можливість проведення серійних дослідів на представленому стенді.

Наявність мінімуму на кривій залежності  $x_2=f(\Delta p)$  застерігає від застосування надто великих робочих тисків, що може привести до погіршення якості (тобто зростання концентрації перміату ( $x_2$ ) розчинів, що очищаються.

**Література**

1. Сидоренко С.В., Юдіна А.В. Дослідження очищення водних розчинів зворотнім осмосом// Збірка тез доповідей XII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених „Екологія. Людина. Суспільство” (13–18 травня 2009 р., м. Київ, Україна).” - К.: 2009. - С. 88-89.
2. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов: Ч. 1-2.-М.: Химия, 1992.-612 с
3. Дытнерский Ю.И. Обратный осмос и ультрафильтрация. - М.: Химия, 1978. - 352 с.

УДК 66.081.63

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ СЕЛЕКТИВНОСТІ І ПРОНИКНЕНОСТІ ВІД КОНЦЕНТРАЦІЇ ХЛОРИСТОГО НАТРІЮ І ТИСКУ В АПАРАТІ ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ**

**Сидоренко С.В., Гулієнко С.В., Юдіна А.В., Тодорюк Т.В.**

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

*Представлена математична модель процесу зворотного осмосу, визначені залежності селективності і проникненості від концентрації розчинів NaCl ( $0,2 \cdot 10^{-3} \dots 6,5$  г/л) в діапазоні робочих тисків ( $0,2 \dots 0,65$  МПа), що дозволило розрахувати вихід перміату, ретанту, концентрації перміату та площу робочої поверхні мембрани. Зроблені висновки, що пояснюють характер представлених графічних залежностей.*

*The mathematical model of reverse osmosis process is represented. The main dependences selectivity and permeability from concentration of NaCl water solutions ( $0,2 \cdot 10^{-3} \dots 6,5$  g/l) in range of working pressure of  $0,2 \dots 0,65$  MPa are defined. This allowed calculating an outturn of retante and permeate, concentration of retante and permeate and working surface area of membrane. It was drawn conclusions, which explains character of represented curves.*

**Ключові слова:** зворотній осмос, перміат, ретант, селективність, проникненість.

Однією з найважливіших проблем захисту довкілля було і залишається забезпечення суспільства і природи чистою водою. Але нажаль щороку мільйони кубічних метрів забруднених вод скидаються в річки та водойми. Тому постає проблема пошуку якісних, економічних та ефективних методів очистки води від токсичних і небезпечних речовини, і очищення вод перед їх використанням у побуті та господарстві.

Серед багатьох методів очищення води та різних розчинів зворотній осмос є найбільш ефективним методом. Тому на кафедрі машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв НТУУ «КПІ» було створено лабораторний стенд, на якому проводяться дослідження ефективності роботи зворотно осмотичних мембран. Схема установки та принцип її дії детально представлені в роботах [3–5].

На даній установці проводилась велика серія дослідів, в яких змінювались концентрації вихідного розчину ( $x_{1n}$ ) в межах від  $2 \cdot 10^{-3}$ ..6,5 г розчиненої солі NaCl на літр дистильованої води і тиски (P) в межах 0,15..0,7 МПа. Вимірювались наступні параметри: концентрації вихідного розчину ( $x_{1n}$ ), ретанту ( $x_{1к}$ ) та перміату ( $x_2$ ), витрати вихідного розчину ( $L_0$ ), ретанту ( $L_{рет}$ ) та перміату ( $L_{пер}$ ), робочого тиску (P). Отримані експериментальні данні заносились в ПК, де за допомогою спеціально розробленої програми розраховувались основні параметри зворотно осмотичної установки (селективність, проникненість та ін.) та будувались графічні залежності між параметрами та вихідними даними.

В основу алгоритму програми обробки основних параметрів покладена наступна математична модель.

Якщо процес зворотного осмосу проводиться при постійному тиску і постійній температурі і нехтується повздовжня дифузія в потоці, то мембранний процес може бути представлений наступною системою рівнянь[1,2]:

$$L_0 = L + W, \quad (1)$$

$$L_0 \cdot x_{1n} = L \cdot x_1 + W \cdot \bar{x}_2, \quad (2)$$

$$(W)/dW = x_2, \quad (3)$$

$$dW/dF = G, \quad (4)$$

$$x_2 = g(x_1, L), \quad (5)$$

$$G = f(x_1, L). \quad (6)$$

де  $x_{1n}, x_{1к}, x_2$  — масова доля розчиненої речовини в відповідних розчинах  $L_0, L$  та перміаті  $W$ ;

$\bar{x}_2$  — середня масова доля розчиненої речовини в перміаті;

$L$  — витрата розчину, який проходить через довільний поперечний переріз апарату;

$W$  — витрата перміату по шляху перебігу потоку від входу до перерізу, який розглядається;

$G$  — проникність мембрани в перерізі, що розглядається;  $F$  — робоча поверхня мембрани.

Граничні умови:

$$x_2 = g(x_1) = a \cdot x_1, \quad (7)$$

$$G = f(x_1) = G_0 - c \cdot x_1, \quad (8)$$

$$\varphi = 1 - a \quad (9)$$

$$\varphi \approx 1 \text{ при } a = 0 \quad (10)$$

де  $G_0$  — пронеканеність по дистильованій воді;

$c$  — селективність;

$a$  — експериментальні коефіцієнти.

Представлена система рівнянь (1–6) з використанням граничних умов (7–10) може бути розв’язана за умови експериментального визначення коефіцієнтів  $c$  та  $a$ . До суттєвих розрахункових параметрів

процесу зворотного осмосу належать: вихід концентрату (ретанту)  $\frac{L}{L_0}$ ; вихід фільтрату (перміату)  $\frac{W}{L_0}$ ; концентрація перміату  $\bar{x}_2$ ; робоча поверхня мембранного апарата  $F$ :

$$\frac{L}{L_0} = \left( \frac{x_1}{x_{1n}} \right)^{\frac{1}{1-a}}; \quad (11)$$

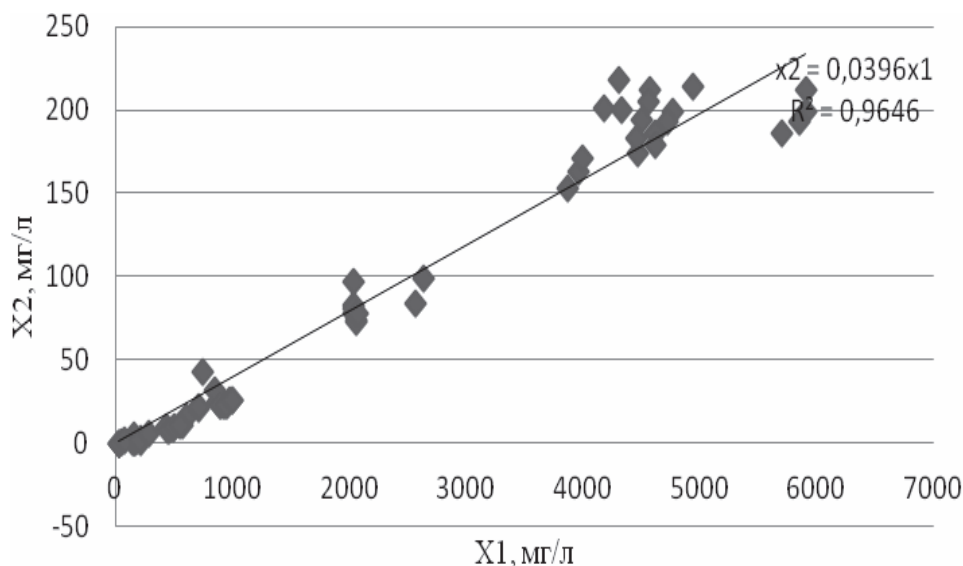
$$\frac{W}{L_0} = 1 - \left( \frac{x_1}{x_{1n}} \right)^{\frac{1}{a-1}}; \quad (12)$$

$$\bar{x}_2 = x_{1n} \cdot \frac{1 - K^{\frac{a}{a-1}}}{1 - K^{\frac{1}{a-1}}}; \quad (13)$$

$$F = \frac{L_0 \cdot x_{1n}^{\frac{1}{1-a}}}{1-a} \cdot \int_{x_{1n}}^{x_{1k}} \frac{dx_1}{x_{1n}^{\frac{2-a}{1-a}} (G_0 - cx_1)} \quad (14)$$

На основі проведених експериментів та розрахунків програми були отримані наступні графічні залежності, аналіз яких дозволяє визначити необхідні коефіцієнти.

Представлена на рис.1 експериментальна залежність  $x_2=f(x_1)$  дозволяє визначити коефіцієнт  $a$ , що входить в емпіричне рівняння (8) і відповідно до умов вищезазначених експериментів  $a = 0,04$ .



**Рис. 1 – Залежність концентрації перміату  $x_2$  від середньої концентрації розчину  $x_1$ .**

На основі рівняння (10) селективність, що спостерігалась, буде 0,96.

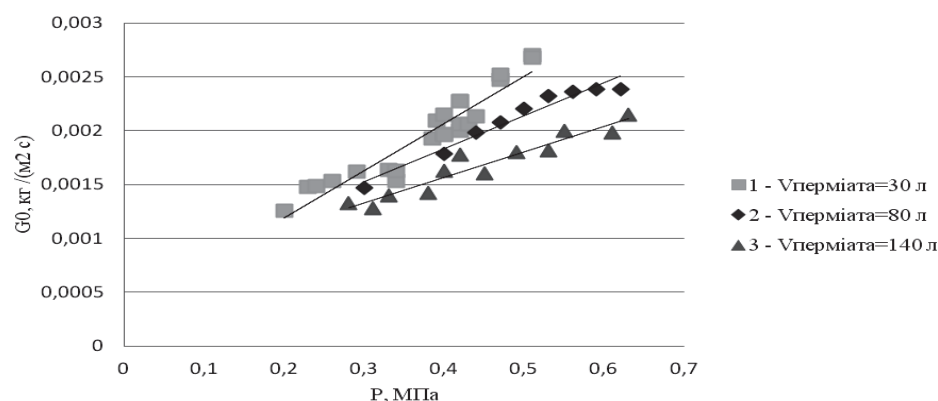
Ці числові значення коефіцієнтів можуть бути використані для розрахунку виходу ретанту і перміату, концентрації перміату та робочої поверхні мембрани (рівняння 12–15).

Представленні графічні залежності (рис 2) дозволяють зробити висновки про вплив загальної кількості отриманого перміату на проникненість по дистилату ( $G_0$ ) в залежності від робочого тиску (при  $x_{1п}=0$ ). З метою прогнозування ресурсу роботи зворотно осмотичного модуля при більших значеннях отриманого перміату (>180л) на основі кривих залежностей  $G_0=f(\Delta P)$  були побудовані графіки  $G_0=f(\Delta V_{пер})$  (рис.3), аналіз яких дозволяє зробити висновок про можливість використання мембран в залежності від кількості отриманого перміату. Як видно (рис.3) при отриманні  $V_{пер}>270$  л при всіх робочих тисках ( $P = 0,25...0,6$ ) проникненість ( $G_0$ ) складає 0,001, складає 30 % від початкового значення при тиску 0,6 МПа.

Крім того на основі графіків (рис.2–4) та експериментальних даних [5] розрахована константа  $c$ , що входить в імперичне рівняння (7), яке набуває конкретного вигляду в граничних умовах (9).

Числове середнє значення константи  $c$ , розрахованої на базі вищезазначених графіків, що отримані при початковій концентрації  $x_{1п}=4190$  мг/л і  $\Delta V_{пер} = 80$  л склало  $0,26 \cdot 10^{-3}$  л<sup>2</sup>/(м<sup>2</sup>с·мг). Відхилення від середнього значення для шести дослідів не перевищило 10 %. Цей коефіцієнт використовується для розрахунку робочої поверхні мембранного модуля, за формулою (14), яка трансформується при  $a \approx 0$  до виразу:

$$F = \frac{L_0 \cdot x_{1n}}{G_0} \cdot \left[ \frac{1}{x_{1k}} - \frac{1}{x_{1n}} - \frac{c}{G_0} \cdot \ln \frac{(G_0 - cx_{1k}) \cdot x_{1n}}{(G_0 - cx_{1n}) \cdot x_{1k}} \right] \quad (15)$$



1 —  $G_0 = 4,4 \cdot 10^{-3} P + 0,3 \cdot 10^{-3}$ ; 2 —  $G_0 = 3,1 \cdot 10^{-3} P + 0,6 \cdot 10^{-3}$ ; 3 —  $G_0 = 2,4 \cdot 10^{-3} P + 0,6 \cdot 10^{-3}$

Рис.2 – Залежність проникненості по дистилату від тиску

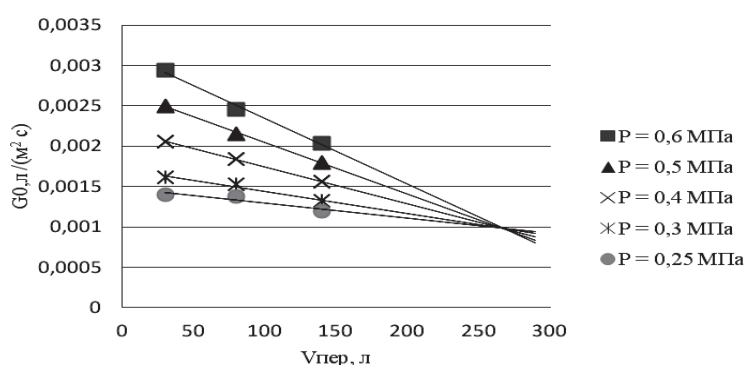


Рис.3 – Залежність проникненості по дистилату від кількості отриманого перміату

Аналіз кривих (рис.4) дозволяє зробити висновок про ідентичний характер всіх кривих, тобто концентрація ретанту ( $x_{1к}$ ) зростає для всіх розчинів з різною початковою концентрацією при збільшенні робочого тиску. Це зростання детально проаналізовано в роботі [5].

При аналізі кривих (рис.5) можна відмітити певну закономірність зміни характеру кривих при різних тисках. Але випуклість (при наявності мінімуму) кривих суттєво зростає при збільшенні вхідної концентрації розчину і слабо проявляється при малих  $x_{1п}$ . Крім того можна зробити висновок про недоцільність застосування надмірних тисків в установках зворотного осмосу, особливо при великих значеннях солевмісту в вихідних розчинах. Характер кривих детально проаналізовано в роботі [5].

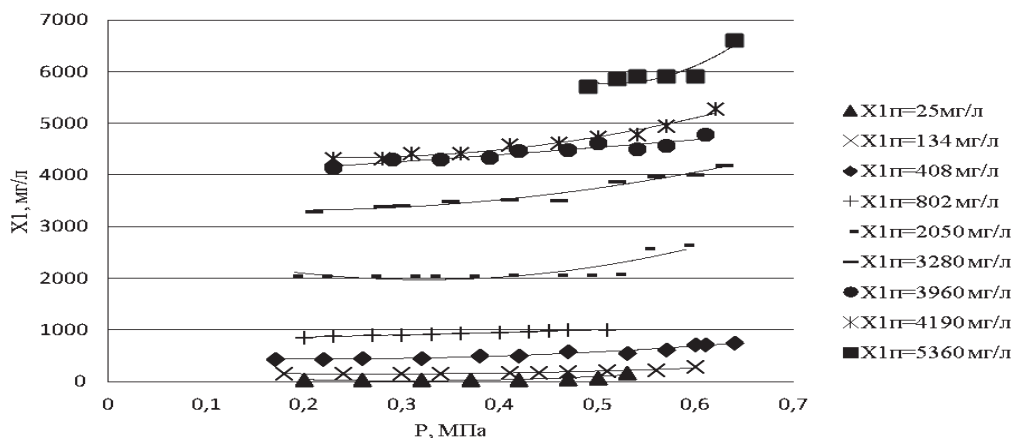
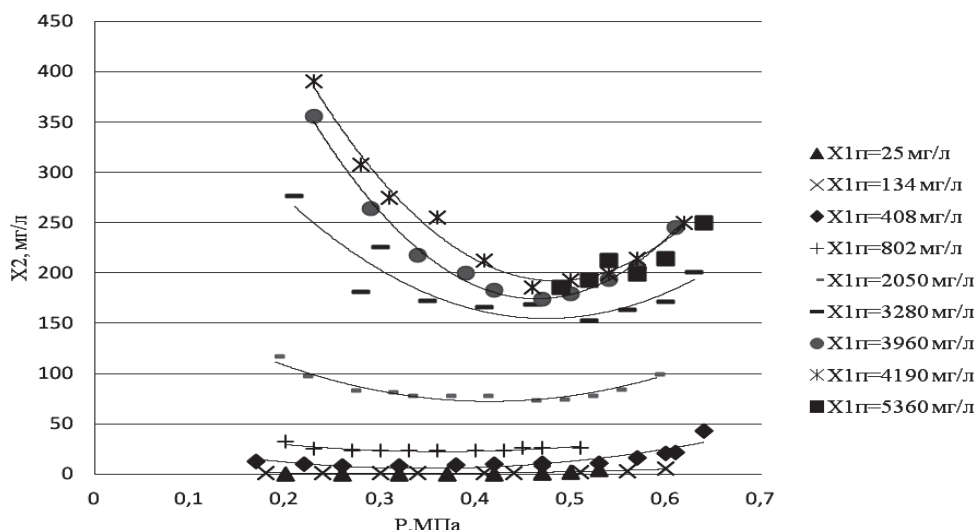


Рис.4 – Залежність концентрації розчину  $x_1$  від тиску

Рис. 5 – Залежність концентрації перміату  $x_2$  від тиску**Література**

1. Дытнерский Ю.И. Обратный осмос и ультрафильтрация. - М.: Химия, 1978. - 352 с.
2. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов: Ч. 1-2.-М.: Химия, 1992.-612 с
3. Сидоренко С.В., Юдіна А.В. Дослідження очищення водних розчинів зворотнім осмосом// Збірка тез доповідей XII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених „Екологія. Людина. Суспільство” (13-18 травня 2009 р., м. Київ, Україна).” - К.: 2009. - С. 88-89.
4. Стенд для ресурсних досліджень очищення водних розчинів шляхом адсорбції та зворотного осмосу в режимі безперервного часу/ Сидоренко С. В., Гулієнко С. В., Юдіна А. В., Тодорюк Т. В. - Заявка №U201002838 на одержання патенту України від 12.03.2010.
5. Сидоренко С.В., Гулієнко С.В., Юдіна А.В., Тодорюк Т.В. Експериментальне дослідження роботи лабораторного стенду для очищення водних розчинів зворотнім осмосом. Зб. доповідей уч. XIII Міжнародної наукової конференції «Совершенствование процессов и оборудования пищевых и химических производств», Одеса: 2010.

УДК 504.55:628.398

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТЕПЛООБМІНУ В СХОВИЩІ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ

Михальчук О. Д. магістрант, Степанюк А. Р. к.т.н., доцент

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

*В даній роботі представлено результати дослідження процесу теплообміну в сховищі радіоактивних відходів.*

*In this work are represented the results of heat transfer process in radioactive waste repository.*

**Ключові слова:** теплообмін, теплопровідність, захоронення радіоактивних відходів.

Одним з негативних наслідків в сфері використання ядерної енергетики є накопичення радіоактивних відходів. Відпрацьоване паливо складають та зберігають в спеціально обладнаних сховищах з метою їх подальшого захоронення в надрах. Для цього ретельно обирають місце майбутнього сховища, його тип та проводять оцінку безпеки. Одним за пунктів оцінки безпеки є розробка системи інженерних бар'єрів в яку входить дослідження розподілення температурного поля внаслідок виділення теплоти радіоактивними відходами [1].