

## TREATMENT OF NANOFILTRATION WHEY PERMEATE BY REVERSE OSMOSIS

I. Kyrychuk, Yu. Zmiyevskiy, V. Myronchuk

National University of Food Technologies

---

<b>Key words:</b> <i>Wastewater</i> <i>Whey</i> <i>Reverse osmosis</i> <i>Rejection</i>	<b>ABSTRACT</b> The paper is devoted to the study of wastewater treatment obtained after nanofiltration of whey. The expediency of wastewater concentration by reverse osmosis is shown. Two low pressure reverse osmosis membranes ESPA-1 (Hydranautics, USA) and TFC-75F (Filmtec, USA) were used for separation of whey permeate nanofiltration. The applied pressure varied from 2.0 to 6.0 MPa. The dead-end filtration was used for the experiments. Based on the results of the study, it was found that TFC-75F membrane has better separation characteristics. It was confirmed by its high values of lactose and minerals rejections.
<b>Article history:</b> Received 29.09.2014 Received in revised form 19.10.2014 Accepted 01.11.2014	
<b>Corresponding author:</b> I. Kyrychuk <b>E-mail:</b> ivanka_ki@mail.ru	

---

## ДООЧИЩЕННЯ ЗВОРОТНИМ ОСМОСОМ НАНОФІЛЬТРАЦІЙНОГО ПЕРМЕАТУ МОЛОЧНОЇ СИРОВАТКИ

І.І. Киричук, Ю.Г. Змієвський, В.Г. Мирончук

Національний університет харчових технологій

*У статті досліджено очищення стічних вод, отриманих після нанофільтрації молочної сироватки. Показано доцільність застосування зворотного осмосу для їх концентрування. Нанофільтраційний пермеат молочної сироватки розділяли на двох зворотно осмотичних мембранах низького тиску ESPA-1 (Hydranautics, США) та TFC-75F (Filmtec, США) при тисках 2,0—6,0 МПа. Для проведення експериментів використовували лабораторну установку тупикового типу. За результатами дослідження встановлено, що кращі розділювальні характеристики має мембрана TFC-75F, яка показала високі значення селективності по лактозі та мінеральним речовинам.*

**Ключові слова:** *стічні води, молочна сироватка, зворотний осмос, селективність.*

Останнім часом у багатьох галузях промисловості для розділення рідких середовищ використовують мембранні процеси, які активно впроваджуються і в харчовій промисловості, зокрема для отримання знесоленої й очищеної води, розділення та концентрування рідких сумішей, регенерації цінних компонентів тощо. Перспективним також стало використання мембранних технологій для

очищення стічних вод, що дає змогу створювати маловідходне виробництво, а також знижувати рівень забруднення навколишнього середовища.

Аналіз зарубіжних публікацій показує, що в результаті очищення стоків підприємств харчової промисловості мембранними методами можна отримати воду, придатну для повторного використання, що актуально для молочної промисловості, оскільки ця галузь скидає велику кількість стічних вод — від 0,2 до 10 л на літр переробленого молока [1]. Така обробка дозволяє знизити об'єми стічних вод і витрати води, а також сконцентрувати такі цінні компоненти, як білки, лактоза та мінеральні солі [1—5]. У [3] показано, що при розділенні розбавленого молока достатньо однієї стадії зворотного осмосу для отримання пермеату, який може бути направлений у каналізацію. Застосування ж двостадійної мембранної обробки нанофільтрація/зворотний осмос і зворотний осмос/зворотний осмос цього розчину дозволяє отримати воду, яка може використовуватися на підприємстві для технічних потреб [1].

Важливим також є застосування мембранних методів для розділення молочної сироватки, адже до появи цих процесів вона вважалася відходом і скидалася разом із промисловими стоками. На сьогодні ж значна кількість сироватки підлягає промисловій переробці.

На практиці для концентрування сироватки часто використовують одну стадію нанофільтрації або зворотного осмосу залежно від технологічного процесу. Порівняльний аналіз процесів нанофільтрації та зворотного осмосу при розділенні молочної сироватки показав, що за допомогою зворотного осмосу можна отримати пермеат зі значно меншою кількістю розчинених сполук, ніж після нанофільтрації [6]. Пермеат, отриманий в результаті такої обробки, зазвичай направляють у каналізацію. При цьому втрачається близько 65 % води (від об'єму переробленої сироватки), яку, попередньо очистивши, можна використовувати для потреб підприємства.

**Мета.** Дослідити процес доочищення стічних вод після розділення молочної сироватки нанофільтрацією та порівняти ефективність двох зворотно осмотичних мембран.

**Матеріали і методи.** Модельні розчини. Для дослідження використовувалися модельні розчини нанофільтраційного пермеату, отриманого після розділення молочної сироватки. Склад фільтрату встановлено за результатами досліджень [7] — 50 % лактози та 50 % солей. Концентрація розчинів становила 0,4, 1 і 5 %.

Лабораторна установка. Дослідження проводилися на лабораторній установці тупикового типу, принцип дії якої описаний у праці [7]. Ефективна площа мембрани складала  $4,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ . Температура розчинів підтримувалася на рівні  $20 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Мембрани. Використовувалися зворотно осмотичні мембрани низького тиску ESPA-1 (Hydranautics, США) і TFC-75F (Filmtec, США). Перед дослідженням мембрани опресовували, фільтруючи крізь них дистильовану воду протягом 2 годин при тиску 2 МПа.

Розрахункові формули і методика визначення концентрації розчинів. Питома продуктивність  $J$  ( $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \text{ год})$ ) і селективність  $R$  (%) визначались за формулами [8]:

$$J = \frac{3600 \cdot V}{S \cdot \tau}, \quad (1)$$

де  $V$  — об'єм пермеату,  $\text{дм}^3$ , отриманий за час  $\tau$ , з поверхні мембрани площею  $S$ ,  $\text{м}^2$ .

$$R = \left(1 - \frac{C_n}{C_k}\right) \cdot 100\%, \quad (2)$$

де  $C_k$ ,  $C_n$  — концентрація солей у концентрованому розчині та фільтраті (пермеаті),  $\text{г/дм}^3$ .

Загальна концентрація мінеральних речовин вимірювалася за допомогою кондуктометра HANNA Instruments DIST 1 з автоматичним компенсатором температури. Сухі речовини визначалися шляхом висушування 3 мл розчину при температурі  $105^\circ\text{C}$  у спеціальній бюксі з двома шарами марлі на дні [9].

**Результати і обговорення.** Враховуючи те, що для процесу зворотного осмосу в робочій камері потрібно створювати високий тиск, що вимагає великих затрат енергії, для дослідження використовували зворотно осмотичні мембрани низького тиску, які за меншої рушійної сили мають необхідні селективні властивості та продуктивність [10, 11].

Спочатку було встановлено залежність питомої продуктивності мембран по дистильованій воді від тиску (рис. 1). Як видно з графіка (рис.1), мембрана ESPA-1 має більшу продуктивність порівняно з TFC-75F. Робочий тиск обох мембран не повинен перевищувати 8 МПа, оскільки відбувається ущільнення їх структури, що призводить до зниження питомого потоку крізь неї, тому подальші дослідження проводилися при тисках від 1 до 6 МПа.

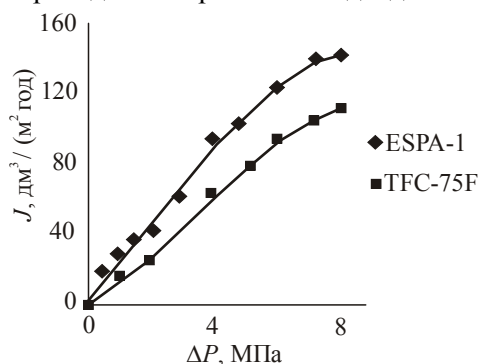


Рис. 1. Залежність питомої продуктивності мембран ESPA-1 і TFC-75F від тиску по дистильованій воді

Для кращого вивчення розділювальних характеристик зворотно осмотичних мембран низького тиску використовувалися модельні розчини концентрацією 0,4, 1 та 5 %. Аналіз результатів процесу розділення показав, що зі збільшенням тиску від 1 до 6 МПа продуктивність обох мембран зростає майже в 4—6 разів, проте у ESPA-1 вона в 2 рази більша при концентруванні розчинів з меншим вмістом розчинених речовин (рис. 2). Зі збільшенням концентрації від 4 до  $50 \text{ г/дм}^3$  питома продуктивність зменшується в середньому в 2—3 рази (рис. 3), що пояснюється зростанням осмотичного тиску розчину.

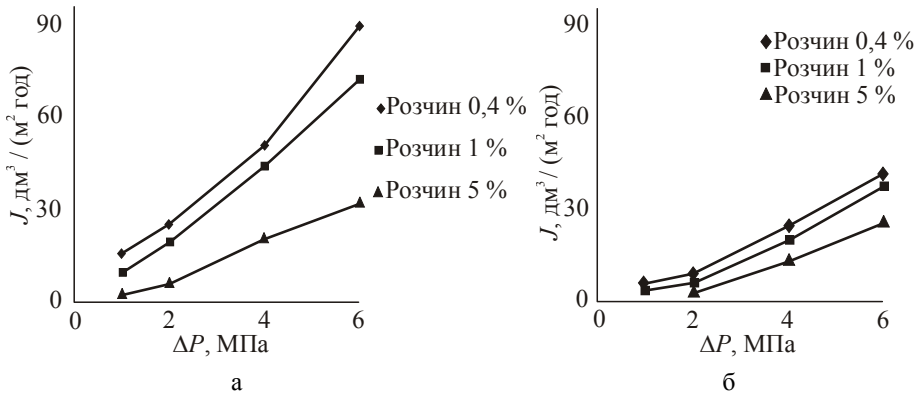


Рис. 2. Залежність питомої продуктивності мембран ESPA-1 (а) і TFC-75F (б) від тиску при розділенні модельних розчинів нанофільтраційного пермеату

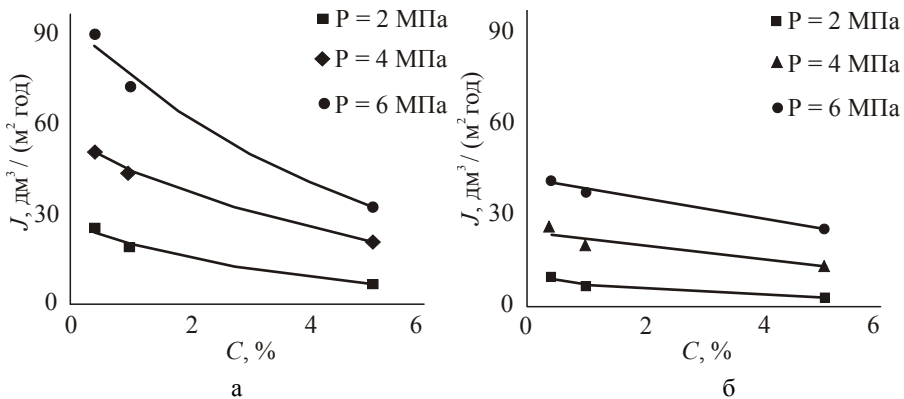


Рис. 3. Залежність питомої продуктивності зворотного осмотичних мембран ESPA-1 (а) і TFC-75F (б) від концентрації модельних розчинів

Основним параметром оцінки ефективності процесу розділення є вміст розчинених речовин у пермеаті. У зв'язку з цим було визначено селективність зворотного осмотичних мембран по основних компонентах нанофільтраційного пермеату — лактози та мінеральним речовинам. Графіки, зображені на рис. 4, підтверджують, що затримування лактози обома мембранами вище 96 %, причому для TFC-75F цей показник становить 99 %, а для ESPA-1 — в межах 96—99 %. Селективність по мінеральним речовинам мембран суттєво відрізняється: для ESPA-1 вона знаходиться в діапазоні 57—87 %, тоді як у TFC-75F — 77—97 % (рис. 5). Проте для обох мембран характерне зниження селективності зі зменшенням рушійної сили процесу та збільшенням концентрації розчину.

Аналіз отриманих результатів показав, що з двох досліджуваних мембран кращі розділювальні характеристики має мембрана TFC-75F (Filmtec, США). Про це свідчить її висока селективність по лактозі (більше 99 %) та мінеральним речовинам (більше 90 %). Єдиним недоліком цієї мембрани є її нижча продуктивність порівняно з ESPA-1 (Hydranautics, США).

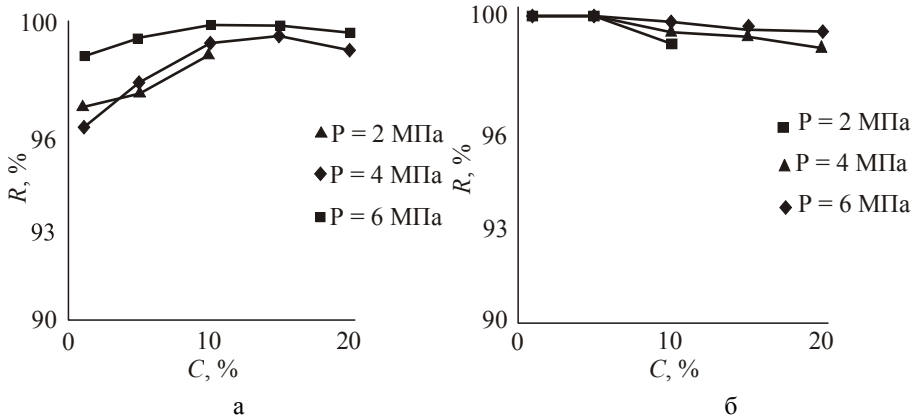


Рис. 4. Залежність селективності мембрани ESPA-1 (а) і TFC-75F (б) по лактозі від концентрації вхідного розчину

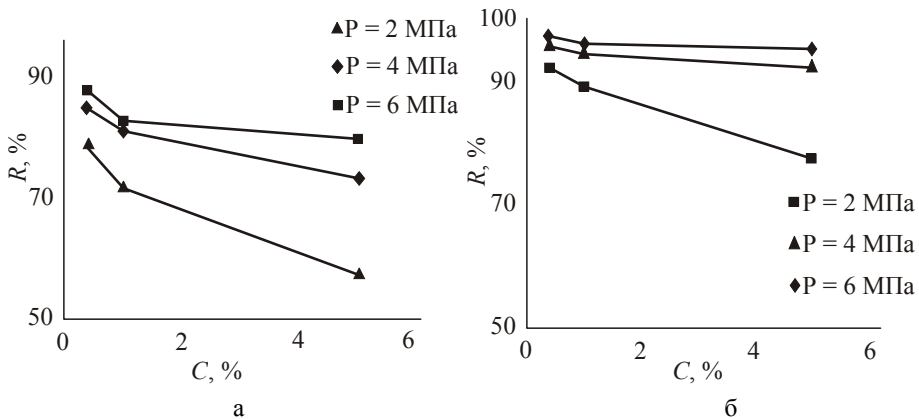


Рис. 5. Залежність селективності мембрани ESPA-1 (а) і TFC-75F (б) по мінеральним солям від концентрації вхідного розчину

Застосування зворотного осмосу для доочищення стоків після нанофільтрації молочної сироватки дозволяє вирішити декілька проблем одночасно:

- зменшити витрату води підприємством шляхом повторного використання фільтрату, отриманого після очищення відпрацьованої води, за допомогою мембранних технологій;
- вилучити та сконцентрувати цінні компоненти, які потрапили у стічні води;
- знизити рівень забруднення навколишнього середовища;
- зменшити об'єм стічних вод.

### Висновки

У результаті проведених досліджень доведено доцільність доочищення зворотним осмосом стічних вод, отриманих після нанофільтрації молочної сироватки. Застосування зворотного осмосу для обробки стоків молокопереробних заводів дає змогу отримати фільтрат (воду) з низьким вмістом мінеральних

сполук — до  $1 \text{ г/дм}^3$ , який можна повторно використовувати для потреб підприємства.

Досліджено розділювальні характеристики двох зворотно осмотичних мембран низького тиску ESPA-1 та TFC-75F. Встановлено, що мембрана ESPA-1 має високу питому продуктивність — до  $90 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ , проте нижчі значення селективності по мінеральним речовинам. Кращі розділювальні характеристики має мембрана TFC-75F завдяки високим показникам селективності, незважаючи на нижчу продуктивність.

### **Література**

1. *Vourch M.* Nanofiltration and reverse osmosis of model process waters from the dairy industry to produce water for reuse / M. Vourch, B. Balannec, B. Chaufer, G. Dorange // *Desalination*. — 2005. — V. 172. — P. 245—256.

2. *Vourch M.* Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse / M. Vourch, B. Balannec, B. Chaufer, G. Dorange // *Desalination*. — 2008. — V. 219. — P. 190—202.

3. *Balannec B.* Comparative study of different nanofiltration and reverse osmosis membranes for dairy effluent treatment by dead-end filtration / B. Balannec, M. Vourch, M. Rabiller-Baudry, B. Chaufer // *Separation and Purification Technology*. 2005 — V. 42. — P. 195—200.

4. *Yorgun M.S.* Performance comparison of ultrafiltration, nanofiltration and reverse osmosis on whey treatment / M.S. Yorgun, I.A. Balcioglu, O. Saygin // *Desalination*. — 2008. — V. 229. — P. 204—216.

5. *Chollangi A.* Separation of proteins and lactose from dairy wastewater / A. Chollangi, Md. M. Hossain // *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. — 2007. — V. 46, № 5. — P. 398—404.

6. *Змієвський Ю.Г.* Порівняльний аналіз процесів нанофільтрації та зворотного осмосу при розділенні молочної сироватки / Ю.Г. Змієвський, І.І. Киричук, В.Г. Мирончук // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. Міністерство освіти і науки України. — Одеса: 2013. — Вип. 43. — Том. 2. — С. 137—141.

7. *Мирончук В.Г.* Экспериментальное исследование влияния высокого давления на эффективность процесса нанофильтрации молочной сыворотки при использовании мембран ОПМН-П / В.Г. Мирончук, И.О. Грушевская, Д.Д. Кучерук, Ю.Г. Змиевский // *Мембраны и мембранные технологии*. — 2013. — № 1, Т. 3. — С. 3—8.

8. *Енциклопедія мембран: в 2 т.* / [упоряд. М.Т. Брик]. — К.: Вид. дім «Києво-Могилянська академія», 2005. — Т.1. — 658 с.

9. *Инихов Г.С.* Методы анализа молока молочных продуктов. Справочное пособие / Г.С. Инихов, Н.П. Брио — М.: Пищевая промышленность, 1971. — С. 423.

10. *Гончарук В.В.* Очистка воды от нитратов методом обратного осмоса низкого давления / В.В. Гончарук, В.О. Осипенко, М.Н. Балакина, Д.Д. Кучерук // *Химия и технология воды*. — 2013. — Т. 35, № 2. — С. 125—131.

11. *Гончарук В.В.* Очистка вод, содержащих фтор, обратным осмосом низкого давления для их комплексной переработки / В.В. Гончарук, Л.А. Де-

ремешко, М.Н. Балакина, Д.Д. Кучерук // Химия и технология воды. — 2013. — Т. 35, № 3. — С. 221—228.

## **ДООЧИСТКА ОБРАТНЫМ ОСМОСОМ НАНОФИЛЬТРАЦИОННОГО ПЕРМЕАТА МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ**

**И.И. Киричук, Ю.Г. Змиевский, В.Г. Мирончук**

*Национальный университет пищевых технологий*

*В статье исследована очистка сточных вод, полученных после нанофильтрации молочной сыворотки. Показана целесообразность применения обратного осмоса для их концентрирования. Нанофильтрационный пермеат молочной сыворотки разделяли с помощью двух обратно осмотических мембран низкого давления ESPA-1 (Hydranautics, США) и TFC-75F (Filmtec, США) при давлениях 2,0—6,0 МПа. Для проведения экспериментов применялась лабораторная установка тупикового типа. По результатам исследования установлено, что лучшими разделительными свойствами обладает мембрана TFC-75F, которая показала высокие значения селективности по лактозе и минеральным веществам.*

**Ключевые слова:** *сточные воды, молочная сыворотка, обратный осмос, селективность.*