

## **ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЇ ЗНЕЖИРЕНОГО МОЛОКА**

**Г.В. Дейниченко, В.В. Гузенко, О.Є. Мельник, А.В. Шеїна**

*Розглянуто питання про використання мембранних процесів під час обробки знежиреного молока ультрафільтрацією. Подано аналіз результатів теоретичних та експериментальних досліджень стосовно визначення технологічних характеристик ультрафільтраційних мембран під час ультрафільтрації знежиреного молока.*

**Ключові слова:** знежирене молоко, процес ультрафільтрації, мембрана, розділення.

## **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ ОБЕЗЖИРЕННОГО МОЛОКА**

**Г.В. Дейниченко, В.В. Гузенко, О.Е. Мельник, А.В. Шенна**

*Рассмотрен вопрос об использовании мембранных процессов во время обработки творожной сыворотки ультрафильтрацией. Представлен анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований по определению технологических характеристик ультрафильтрационных мембран при ультрафильтрационной обработке обезжиренного молока.*

**Ключевые слова:** обезжиренное молоко, процесс ультрафильтрации, мембрана, разделение.

## **INTENSIFICATION OF THE PROCESS OF ULTRAPHILTRATION OF DEFECTIVE MILK**

**G. Deynichenko, V. Guzenko, O. Melnik, A. Sheina**

*The paper presents a new methods of processing the findings on the ultrafiltration concentration of skimmed raw milk with the use of a new method to prevent a polarization layer on the membrane. Food liquids were treated by ultrafiltration with flat membrane module elements (the membranes proper). The process was carried out in dead end mode with using, as the method of intensification – perforated vibrating disc and bubbling device. The paper reveals the research findings on the bubbling method effect on a polarization layer in the membrane processing of skimmed milk and on the performance of ultrafiltration membranes. The devised mathematical models are based on the regression equations of the factorial experiment on the selection of technological parameters of the UF-concentration of skimmed milk with the use of the feedstock bubbling over*

*the membrane surface. We have determined the rational working parameters of the process; these working parameters are as follows: the working pressure is 0.4...0.5 MPa, the skimmed milk temperature – 40-50 C, the skimmed milk bubbling frequency – 0.10-0.15 min<sup>-1</sup>, and the bubbling pressure – 0.56-0.58 MPa. Analytical and experimental studies that were taken show the technological limits of the modes of regulation of receiving concentrate in ultrafiltration concentration process of food liquids. It is experimentally proved that the bubbling method that has the advantage of preventing the formation of a polarization layer improves the efficiency of the UF-separation of skimmed milk. It is found that in the bubbling mode, the UF-concentration of skimmed milk is 1.3-1.4 times more intensive in comparison with UF in the dead-end mode. Research on the PAN-types of UF-membranes in the UF-concentration of skimmed milk shows that the proposed method of controlling the polarization layer on the membrane can improve the latter's performance due to a thinner layer of the accumulated macromolecular substances thereon and an enhanced working surface of the membrane.*

**Keywords:** *membrane processing, whey, process ultrafiltration, membrane, separation, treatment.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Сьогодні найбільш простим способом застосування ультрафільтрації (УФ) у молочній промисловості є нормалізація молока за білком при виробництві питного молока. Ультрафільтрація незбираного молока призводить до переходу у фільтрат 45,1% сухих речовин, у тому числі 96,5% лактози і 60,6% мінеральних солей. Аналогічні результати дає ультрафільтрація знежиреного молока [1; 2].

З усіх відомих мембранних процесів для обробки знежиреної молочної сировини найбільшою мірою підходить ультрафільтрація, оскільки цьому процесу притаманні такі переваги, як висока економічність, низька енергоємність, відсутність фазових перетворень білка. На відміну від зворотного осмосу і нанофільтрації, процес УФ відбувається за набагато меншого тиску і водночас забезпечує набагато більшу селективність, ніж мікрофільтрація [3]. Одночасно з концентрацією харчових розчинів УФ очищує їх від низькомолекулярних речовин, бактерій, зберігаючи постійне значення рН. Усе вищевикладене обумовлює широке використання ультрафільтрації при переробці молочної сировини і її застосування в технологіях молочних продуктів [4].

Актуальним і своєчасним питанням сьогодні є дослідження процесів ультрафільтрації молочної сировини із застосуванням нових методів боротьби з поляризаційним шаром.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Знежирену молочну сировину сьогодні широко використовують як об'єкт баромембранного розділення. Продукти УФ-переробки знежиреної молочної

сировини мають чітко визначений набір функціональних властивостей, широкий спектр промислового застосування, тому їх вибір як предмета дослідження є обґрунтованим і доцільним [5].

Стримуючу роль у розвитку ультрафільтраційних методів переробки знежиреної молочної сировини відіграє невисока питома продуктивність УФ-мембран, що зумовлено специфічними властивостями високомолекулярних речовин знежиреної молочної сировини [6]. При цьому спостерігається відсутність вдосконалених ультрафільтраційних установок малої продуктивності, що пояснюється недостатньою кількістю експериментальних даних, необхідних для розрахунку процесу УФ-концентрування і устаткування для його реалізації [7].

**Метою статті** є дослідження продуктивності напівпроникних ультрафільтраційних мембран під час УФ-концентрування знежиреного молока з використанням методів інтенсифікації.

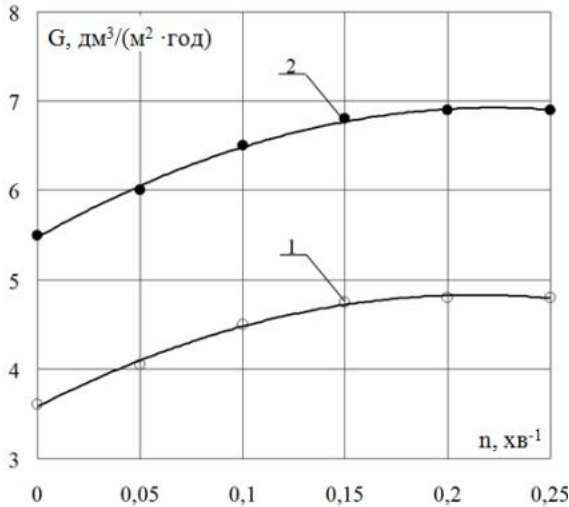
**Виклад основного матеріалу дослідження.** З усіх способів активного впливу на формування шару концентраційної поляризації найбільш прийнятними з точки зору збереження нативних властивостей компонентів сировини, що розділяється є гідромеханічні способи [8]. Незважаючи на те, що в спеціалізованій літературі представлено значну кількість способів і пристроїв гідромеханічного запобігання утворенню поляризаційного шару на поверхні мембран, їх потенційні можливості далеко не вичерпані [9].

У науковій лабораторії «Нанотехнології харчових продуктів» Харківського державного університету харчування та торгівлі проведено дослідження з вибору оптимальних параметрів УФ-концентрування знежиреного молока. З метою вдосконалення процесу мембранної обробки знежиреного молока був обраний метод усунення поляризаційного шару, де можуть брати участь як фізичні явища, так і гідромеханічні процеси.

З метою прискорення УФ-концентрування знежиреного молока запропоновано усувати поляризаційний шар методом барботування оброблюваних харчових рідин бульбашками повітря або інертного газу в безпосередній близькості від поверхні напівпроникних УФ-мембран. Прискорення ультрафільтрації при цьому відбувається в наслідок сукупного впливу на гель, що утворився на поверхні мембрани, тиску барботування, турбулізації потоків оброблюваної рідини і гідравлічного удару рідини об поверхню УФ-мембрани.

Важливим фактором, що істотно впливає на процес УФ-концентрування знежиреного молока з використанням методу барботування вихідної сировини над поверхнею мембрани, є частота барботування ( $n_6$ ).

З огляду на це було досліджено вплив частоти барботування на продуктивність дослідних УФ-мембран під час розділення знежиреного молока за температури 20 °С і тиску процесу УФ-концентрування 0,4 МПа. Результати подано на рис. 1.



**Рис. 1.** Залежність продуктивності ( $G$ ) УФ-мембран від частоти барботування ( $n$ ) сировини, що обробляється УФ-концентруванням знежиреного молока (температура 20 °С, тиск фільтрації 0,4 МПа, тиск барботування 0,46 МПа): 1 – мембрана ПАН-50; 2 – мембрана ПАН-100

На рис. 1 видно, що інтенсивне підвищення продуктивності обох мембран відбувається зі збільшенням частоти барботування до значень  $0,10\text{--}0,15 \text{ хв}^{-1}$ , після чого показники продуктивності за УФ-концентрування знежиреного молока стабілізуються.

Крім частоти барботування молочної сировини, що розділяється, на створення гідродинамічних умов на поверхні напівпроникних УФ-мембран впливає також тиск барботування ( $P_1$ ), тому на наступному етапі досліджували вплив тиску барботування на продуктивність мембран типу ПАН. Результати досліджень наведено на рис. 2.

Дані рис. 2 свідчать, що тиск барботування впливає на процес ультрафільтрації значно меншою мірою, ніж частота барботування. Зі зростанням значень тиску барботування продуктивність УФ-мембран типу ПАН монотонно збільшується, причому ця залежність має лінійний характер.

Раціональним інтервалом тиску барботування слід уважати значення 0,56–0,58 МПа, оскільки вони найбільшою мірою сприяють підвищенню продуктивності ультрафільтраційних мембран типу ПАН, однак при цьому критичне значення тиску в УФ-модулі не досягається.

Збільшення продуктивності УФ-мембран у разі зростання тиску барботування пояснюється періодичним розрядженням тиску в робочій камері й гідравлічним ударом рідини об поверхні мембрани. Проте таке явище призводить лише до часткового усунення поляризаційного шару з поверхні мембрани. Наслідком цього є ущільнення залишку шару на поверхні мембрани зі збільшенням тривалості процесу УФ, що призводить до значного зниження продуктивності мембрани.

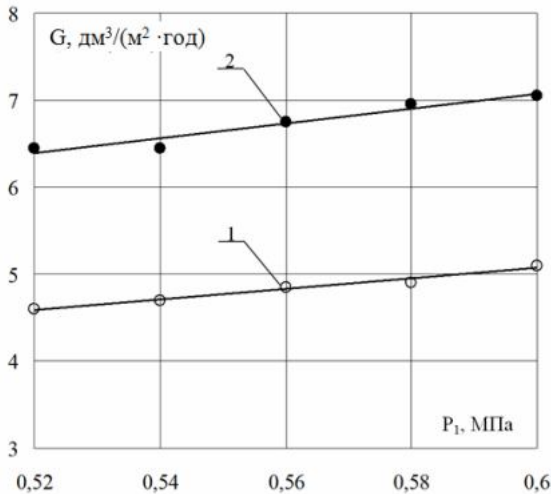
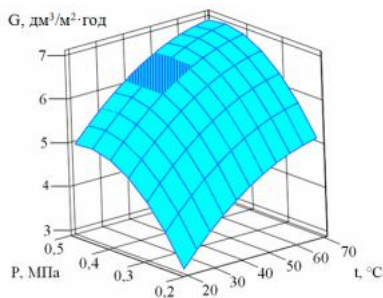


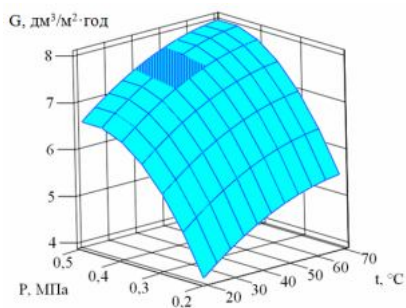
Рис. 2. Залежність продуктивності ( $G$ ) УФ-мембран від тиску барботування ( $P_1$ ) за умов мембранного розділення знежиреного молока за температури  $20\text{ }^\circ\text{C}$ , тиску фільтрації  $0,4\text{ МПа}$  і частоти барботування  $0,15\text{ хв}^{-1}$ : 1 – мембрана ПАН-50; 2 – мембрана ПАН-100

У результаті математичного моделювання були визначені умови проведення процесу УФ-концентрування з використанням ультрафільтраційних мембран типу ПАН (ПАН-50 і ПАН-100). Це дозволило визначити раціональні показники продуктивності, а також можливі максимальні значення цієї характеристики за умови оптимальних параметрів процесу [10].

Оптимізація технологічних режимів процесу УФ досліджуваної молочної сировини в тупиковому режимі та з використанням методу боротьби з поляризаційним шаром дозволила побудувати тривимірні графічні залежності, що характеризують зазначені процеси (рис. 3). Найбільш раціональні режими проведення процесів УФ-концентрування виділені на графічних залежностях спеціальним штрихуванням.



а



б

**Рис. 3. Математична модель вибору технологічних параметрів напівпроникних мембран типу ПАН під час УФ-концентрування знежиреного молока: а – звичайний режим; б – із використанням методу барботування за частоти барботування  $n = 0,15 \text{ хв}^{-1}$ , тиску барботування  $P_1 = 0,58 \text{ МПа}$**

Аналіз отриманих даних математичного моделювання свідчить про те, що з підвищенням температури до 40...50 °С відбувається збільшення швидкості руху пермеату під час УФ-концентрування знежиреного молока внаслідок зменшення його в'язкості. Із подальшим підвищенням температури швидкість УФ-концентрування

майже не змінюється, що можна пояснити прихованою коагуляцією білка, унаслідок чого він осідає на поверхню напівпроникних мембран, ущільнюючи поляризаційний шар [11].

У випадку збільшення тиску процесу УФ можна спостерігати, що продуктивність УФ-мембран ПАН інтенсивно збільшується за досягнення значень тиску 0,3–0,4 МПа для звичайного режиму і 0,4–0,5 МПа з використанням методу барботування вихідної сировини, після чого швидкість її збільшення сповільнюється. Очевидно, це пояснюється зростанням гідравлічного опору осаду, який утворився на поверхні УФ-мембрани [12].

Експериментальні дослідження технологічних режимів із застосуванням математичної моделі дозволили вибрати раціональні технологічні параметри проведення УФ-концентрування знежиреного молока у звичайних умовах із використанням барботування біля поверхні УФ-мембран типу ПАН. Максимальна ефективність процесу УФ-концентрування знежиреного молока у звичайному режимі та із застосуванням барботування вихідної сировини досягається за значень тиску фільтрації 0,4–0,5 МПа, температури УФ-обробки вихідної сировини 40...50 °С.

Отримані результати можуть бути використані під час дослідження інших технологічних параметрів в процесі УФ-концентрування знежиреної молочної продукції, а також для вдосконалення апаратурного оснащення виробничих ліній з переробки молочної сировини.

**Висновки.** Таким чином, доведено, що сьогодні для боротьби з поляризаційним шаром перспективними з точки зору вдосконалення процесу ультрафільтрації знежиреного молока є гідравлічні методи.

Отримано результати, які дозволили визначити раціональні параметри проведення ультрафільтраційного концентрування знежиреного молока з використанням УФ-мембран типу ПАН і з застосуванням методу барботування: тиск – 0,4–0,5 МПа, температура знежиреного молока – 40...50 °С, частота барботування знежиреного молока – 0,10–0,15 хв<sup>-1</sup>, тиск барботування має становити 0,56–0,58 МПа

#### Список джерел інформації / References

1. Теоретичні та практичні передумови регулювання складу сольової системи молочної сировини / Р. В. Плотнікова, Н. Г. Гринченко, О. В. Мороз, П. П. Пивоваров // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 4/10 (64). – С. 47–53.

Plotnikova, R., Hrynchenko, N., Moroz, O., Pyvovarov, P. (2013), "Theoretical and practical prerequisites for the regulation of the composition of the salt system of dairy raw materials", *East European Magazine of Advanced*

Technology [“Teoretychni ta praktychni peredumovy rehulyvannya skladu sol'ovoyi systemy molochnoyi syrovyny”, *Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij*], No. 4/10 (64), pp. 47-53.

2. Kelly, P. (2011), “Milk Protein Concentrate”, *Encyclopedia of Dairy Sciences*, pp. 848-854.

3. Zeki, Berk (2009), *Food process Engineering and Technology*, Elsevier, USA, 605 p.

4. Мирончук В. Г. Мембранні процеси в технології комплексної переробки сироватки : монографія / В. Г. Мирончук, Ю. Г. Змієвський. – К. : НУХТ, 2013. – 153 с.

Myronchuk, V., Zmiyevskij, Yu. (2013), *Membrane processes in technology of whey processing complex* [*Membranni procesy v tehnologii kompleksnivi pererobky sv'rovatky*], NUHT. Kiviv. 153 p.

5. Li, Y., Coredig, M. (2014), “Calcium release from milk concentrated by ultrafiltration and diafiltration”. *Journal of dairy science*, Vol. 97, Iss. 9, pp. 5294-5302.

6. Богомолов В. Ю. Промышленная переработка вторичного молочного сырья / В. Ю. Богомолов, С. И. Лазарев // Вопросы современной науки и практики. – 2014. – № 1 (50). – С. 82–91.

Bogomolov, V., Lazarev, S. (2014), “Industrial processing of secondary dairy raw materials”, *Issues of modern science and practice* [“Promyshlennaja pererabotka vtorichnogo molochnogo syr'ja”, *Voprosy sovremennoj nauki i praktiki*], No. 1 (50), pp. 82-91.

7. Akoum, O., Jaffrin, M., Ding, L. (2005), “Concentration of total milk proteins by high shear ultrafiltration in a vibrating membrane module”, *Journal of Membrane Science*, Vol. 247, Iss. 1-2, pp. 211-220.

8. Cheng, T.-W. Li, L.-N. (2007), “Gas-sparging cross-flow ultrafiltration in flat-plate membrane module: Effects of channel height and membrane inclination”, *Separation and Purification Technology*, Vol. 55, pp. 50-55.

9. Lobasenko, B.A., Semenov, A.G. (2013), “Intensification of ultrafiltration concentrating by the separation of the concentration boundary layer”, *Foods and Raw Materials*, Vol. 1, No. 1, pp. 74-81.

10. Остапчук М. В. Математичне моделювання на ЕОМ : підручник / М. В. Остапчук, Г. М. Станкевич. – Одеса : Друк, 2006. – 313 с.

Ostapchuk, M., Stankevych, G. (2006), *Mathematical modeling of computer* [*Matematychni modeluvannya na EOM*]. Druk. Odesa. 313 p.

11. Ding, U., Liu, D., Weeks, M. (2014). “Alterations to the composition of casein micelles and retentate serum during ultrafiltration of skim milk at 10 and 40°C”, *International Dairy Journal*, Vol. 35, Iss. 1, pp. 63-69.

12. Deinychenko, G., Mazniak, Z., Kramarenko, D., Guzenko, V. (2016), “Determination of ultrafiltration membranes shrinkage factor”, *Ukrainian Food Journal*, Vol. 4, Iss. 2, pp. 328-334.

**Дейниченко Григорій Вікторович**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри устаткування харчової і готельної індустрії ім. М.І. Беляєва, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Ключківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: deynichenkovg@rambler.ru.



**Дейниченко Григорий Викторович**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой оборудования пищевой и гостиничной индустрии им. М.И. Беляева, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Ключковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: deynichenkogv@rambler.ru.

**Deynichenko Gregory**, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Department equipment for food and hotel industry after M.I. Belyaeva. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-56; e-mail: deynichenkogv@rambler.ru.

**Гузенко Василь Володимирович**, канд. техн. наук, ст. наук. співроб., кафедра устаткування харчової і готельної індустрії ім. М.І. Беляєва, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Ключківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-56, e-mail: kp87vasil@ukr.net.

**Гузенко Василий Владимирович**, канд. техн. наук, ст. науч. сотруд., кафедра оборудования пищевой и гостиничной индустрии им. М.И. Беляева, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Ключковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: kp87vasil@ukr.net.

**Guzenko Vasiliy**, Cand. Sci. (Tech.), senior researcher of Scientific and research sector KSUFTT, Department equipment for food and hotel industry after M.I. Belyaeva, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-56; e-mail: kp87vasil@ukr.net.

**Мельник Ольга Євгенівна**, канд. техн. наук, доц., кафедра загальноінженерних дисциплін і обладнання. Донецький національний університет економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. Адреса: вул. Островського, 16, м. Кривий Ріг, Україна, 50005. Тел.: 0671049709; e-mail: melnikolgaevgenivna@ukr.net.

**Мельник Ольга Евгеньевна**, канд. техн. наук, доц., кафедра общинженерных дисциплин и оборудования. Лонецкий национальный университет экономики и торговли им. М. Туган-Барановского. Адрес: ул. Островского, 16, г. Кривой Рог, Украина, 50005. Тел.: 0671049709; e-mail: melnikolgaevgenivna@ukr.net.

**Melnik Olga**, Cand. Sci. (Tech.), Ass. Prof., Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Department of General Engineering Disciplines and Equipment. Address: Ostrowski str., 16, Kryvyi Rih, Ukraine, 50005. Tel.: 0671049709; e-mail: melnikolgaevgenivna@ukr.net.

**Шейна Аліна Володимирівна**, ст. наук. співроб., кафедра загальноінженерних дисциплін і обладнання. Лонецкий национальный університет економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. Адреса: вул. Островського, 16, м. Кривий Ріг, Україна, 50005. Тел.: 0502356576; e-mail: sheyina235@gmail.com.

**Шейна Алина Владимировна**, ст. науч. сотруд., кафедра  
общеинженерных дисциплин и оборудования. Донецкий национальный  
университет экономики и торговли им. М. Туган-Барановского. Адрес:  
ул. Островского, 16, г. Кривой Рог, Украина, 50005. Тел.: 0671049709; e-mail:  
melnikolgaevgenivna@ukr.net.

**Sheyina Alina**, senior researcher, Donetsk National University of  
Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Department of  
General Engineering Disciplines and Equipment. Address: Ostrowski str., 16, Kryvyi  
Rih, Ukraine, 50005. Tel.: 0671049709; e-mail: melnikolgaevgenivna@ukr.net.  
DOI: 10.5281/zenodo.1306398