

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРЕСИВНОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

DOI : 10.33274/2079-4827-2020 -41-2-71-78
УДК 628.161

Дейниченко Г. В., д-р техн. наук, професор¹
Гузенко В. В., канд. техн. наук, доцент¹
Мазняк З. О., канд. техн. наук, доцент¹
Омельченко О. О., канд. техн. наук, доцент²
Швидько В. М., магістрант¹

¹ Харківський державний університет харчування та торгівлі (м. Харків, Україна), e-mail: oborud.hduht@gmail.com

² Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: omelchenko@donnuet.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЇ СИРОВАТКИ З-ПІД КИСЛОГО СИРУ

UDC 628.161

*Deynychenko G. V., Grand PhD of Engineering
Science, Professor¹*
*Guzenko V. V., PhD of Engineering sciences,
Associate Professor¹*
*Maznyak Z. O., PhD of Engineering sciences,
Associate Professor¹*
Omelchenko O. V., PhD of Engineering sciences²
Schvydko V. M., graduate student¹

¹ Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkiv, Ukraine, e-mail: oborud.hduht@gmail.com

² Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: omelchenko@donnuet.edu.ua

RESEARCH OF THE INTENSIFICATION METHOD OF THE ULTRAFILTRATION PROCESS OF CURDY WHEY

Мета. Мета статті полягає у дослідженні концентрування сироватки з-під кислого сиру через ультрафільтраційну мембрану із застосуванням методу інтенсифікації процесу.

Методи. З метою прискорення процесу УФ-концентрування знежиреного молока був запропонований метод боротьби з поляризаційним шаром шляхом барботування оброблюваних харчових рідин бульбашками повітря або інертного газу в безпосередній близькості від поверхні напівпроникних УФ-мембран. Прискорення процесу ультрафільтрації при цьому відбувається за рахунок сукупного впливу на гель, що утворився на поверхні мембрани, тиску барботування, турбулізації потоків оброблюваної рідини і гідравлічного удару рідини об поверхню УФ-мембрани.

Для дослідження впливу барботування на процес ультрафільтраційного розділення харчової рідини включають компресор для барботування, який через барботуючий пристрій створює турбулізаційні системи на поверхні напівпроникної мембрани. У процесі ультрафільтрації пермеат проходить крізь пори мембран, відводиться з фільтрувального модуля при використанні штуцера і збирається в ємність. Ультрафільтраційний концентрат розділеної рідини при досягненні необхідних значень фактора концентрації відбирається з фільтрувального модуля за допомогою крану.

Надійшла до редакції 26.10.2020 р.

© Г. В. Дейниченко, В. В. Гузенко, З. О. Мазняк,
О. О. Омельченко, В. М. Швидько, 2020

Результати. Наведено результати експериментальних досліджень щодо застосування способу барботування для зменшення поляризаційного шару в процесах ультрафільтраційного концентрування сироватки з-під кислого сиру та його впливу на продуктивність ультрафільтраційних мембран. Розроблено математичну модель, в основі якої лежить регресійне рівняння факторного експерименту із застосуванням способів барботування рідини, що розділяється над поверхнею мембран, для вибору технологічних параметрів процесу мембранного концентрування сироватки з-під кислого сиру. Визначено раціональні параметри ультрафільтраційного концентрування сироватки з-під кислого сиру із застосуванням способів барботизації вихідної сировини бульбашками газу в безпосередній близькості від поверхні ультрафільтраційної мембрани. За результатами дослідження було встановлено доцільність застосування нового способу видалення гель-шару.

Ключові слова: сироватка з-під кислого сиру, процес, мембрана, ультрафільтрація, барботування.

Постановка проблеми. Сироватка — це рідкий вторинний продукт молочної промисловості, що виробляється під час виробництва сирів і казеїну. В якості сировини вона має широкі сфери застосування в харчовій промисловості завдяки функціональним та поживним властивостям білків, що містяться у її складі [1; 2].

Концентрат сироваткового протеїну одержують шляхом надтонкої фільтрації сироватки для концентрування протеїнів у невеликому об'ємі, які після цього сушать до розчинного порошку. Такі концентрати сироваткового протеїну використовуються в якості складових харчових продуктів у готельному та ресторанному бізнесі для виготовлення різних кулінарних та кондитерських виробів, хлібобулочних виробів, кондитерських кремів, крабових паличок, тортів, соусів, дитячих сумішей, тонізуючих напоїв тощо. Важливий аспект сироваткових протеїнів у тому, що вони мають успіх в якості емульгаторів у харчових системах [3; 4].

Сироваткові білкові концентрати мають різну концентрацію для структуроутворення. Взагалі, білкові сироваткові концентрати здатні утворювати гель за 60–90 °С та концентрації 80–120 г/л. Процес утворення відбувається під впливом температури і тривалості нагріву, рН та іонної сили, концентрації солі, білка, цукру і ліпідів. Піноутворювальні властивості сироваткових білків в основному залежать від ступеня їх денатурації. Ці властивості є кращими для неденатурованих сироваткових білків. Через ступінь денатурації, концентрації Са-іонів, температури, рН, вміст ліпідів спінювальні властивості сироваткових білків варіюються [5; 6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання методів мембранного концентрування, зокрема ультрафільтрації (УФ), при переробці такої знежиреної молочно-білкової сировини (сирної сироватки) відкриває для молокопереробного підприємства значні можливості з боку як створення й удосконалення виробничих процесів і збільшення рентабельності виробництва, так і забезпечення екологічної безпеки за рахунок введення безвідходних технологій переробки вторинної молочної сировини [7].

Застосування ультрафільтрації при концентруванні молочної сировини може бути набагато дешевше, ніж, наприклад, виморожування. Це пояснюється підвищенням ресурсозбереження при отримуванні нових молочних продуктів без втрати лабільних компонентів і погіршення смаку, що часто супроводжується при концентруванні методами термічної обробки. При цьому екологічна безпека підвищується за рахунок мінімальної кількості відходів, що, безумовно, має позитивний вплив на навколишнє середовище [8].

Стримуючу роль у розвитку мембранних методів обробки білково-вуглеводної молочної сировини грає невисока питома продуктивність УФ-мембран, зумовлена специфічними властивостями високомолекулярних речовин білково-вуглеводної молочної сировини [9; 10]. При цьому широкому впровадженню мембранних процесів перешкоджає зниження проникності УФ-мембран в процесі поділу, основною причиною чого називають виникнення шару осаду на поверхні УФ-мембрани — поляри-

заційного шару [11; 12]. Для зниження виникнення поляризаційного шару необхідно передбачити в конструкції розроблюваного мембранного обладнання пристрій, який би турбулізований потік розділяв високомолекулярною рідкою полідисперсною системою [13].

З найбільш ефективних способів зниження швидкості формування шару концентраційної поляризації слід виокремити гідромеханічні. Більш детально зі способами і пристроями гідромеханічного зниження виникнення поляризаційного шару на поверхні мембран можна ознайомитися в роботах [14; 15]. Зі спектра існуючих гідромеханічних способів перспективним є застосування процесу барботування потоку, що розділяється системою. Очікуваний результат використання зазначеного процесу передбачає необхідність дослідження робочих параметрів барботування сирної сироватки і його вплив на кількісну характеристику процесу мембранного концентрування.

Мета статті — дослідження концентрування сироватки з-під кислого сиру через ультрафільтраційну мембрану із застосуванням методу інтенсифікації процесу.

Щоб досягти зазначеної мети, необхідно вирішити такі завдання:

- дати характеристику сучасних методів зниження поляризаційного шару на поверхні УФ-мембрани;
- визначити чинники, що впливають на процес мембранного концентрування сирної сироватки з використанням способу барботування;
- на підставі результатів дослідження визначити раціональні параметри мембранного концентрування сирної сироватки.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для визначення технологічних параметрів процесу ультрафільтраційного концентрування сироватки з-під кислого сиру використовувалася математична модель за методом планування експерименту [16; 17]. Рівняння регресії (1–2), отримані внаслідок моделювання змінних параметрів УФ-концентрування сироватки з-під кислого сиру, сприяють більш детальному вивченню явищ, що проходять на поверхні мембрани на основі сополімерів акрилонітрилу (ПАН) під час ультрафільтрації знежиреної молочної сировини [18].

Продуктивність мембрани під час УФ-концентрування сироватки з-під кислого сиру у звичайному режимі:

$$G_c = 2,078 + 0,136 \cdot t + 31,969 \cdot P - 1,442 \cdot \tau - \left. \begin{aligned} &-5,202 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 39,575 \cdot P^2 + 0,223 \cdot \tau^2 - \\ &-3,333 \cdot 10^{-3} \cdot t \cdot P - 0,014 \cdot t \cdot \tau + 1,467 \cdot P \cdot \tau. \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де t — температура УФ-концентрування, °C; P — тиск фільтрації, МПа; τ — тривалість процесу УФ-концентрування.

Продуктивність мембрани при УФ-концентруванні сироватки з-під кислого сиру з використанням методу барботування:

$$G_c^b = -36,803 + 0,069 \cdot t + 42,708 \cdot P + 116,559 \cdot P_1 + \left. \begin{aligned} &+ 24,698 \cdot n_b + 3,323 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 53,807 \cdot P^2 - 97,917 \cdot P_1^2 - \\ &- 43,482 \cdot n_b + 8,042 \cdot 10^{-3} \cdot t \cdot P + 7,158 \cdot 10^{-3} \cdot t \cdot P_1 + \\ &+ 0,012 \cdot t \cdot n_b + 13,64 \cdot P \cdot P_1 + 2,016 \cdot P \cdot n_b - 12,439 \cdot P_1 \cdot n_b. \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

де n_b — частота барботування, хв⁻¹; P_1 — тиск барботування, МПа.

Для проведення дослідження використовували сироватку з-під кислого сиру, яку отримували на підприємстві ТОВ «Куп'янський молочноконсервний комбінат», м. Куп'янськ, Харківська область, Україна з таким хімічним складом: вміст сухих речовин — 5,4 %; білок — 1,1 %; жир — 0,2 %.

У роботі були досліджені основні параметри методу барботування: частота та тиск (рис. 1–2). Спочатку досліджено вплив частоти барботування на продуктивність дослі-

джуваних УФ-мембран під час концентрування сироватки з-під кислого сиру при температурі 20°C і тиску процесу $0,4\text{ МПа}$ (рис. 1) [14].

З рис. 1 видно, що інтенсивне підвищення продуктивності обох мембран відбувається зі збільшенням частоти барботування до значень $0,10\ldots 0,15\text{ хв}^{-1}$, після чого показники продуктивності при мембранному концентруванні знежиреного молока стабілізуються.

Окрім частоти барботування, на створення гідродинамічних умов біля поверхні напівпроникних УФ-мембран здійснює також вплив тиск барботування (P_6). Тому на наступному етапі досліджували вплив тиску барботування на продуктивність мембран типу ПАН (ПАН-50 і ПАН-100). Результати досліджень наведені на рис. 2.

Дані рис. 2 показують, що тиск барботування впливає на процес УФ меншою мірою, ніж частота барботування. З підвищенням тиску барботування продуктивність УФ-мембран монотонно збільшується, причому ця залежність носить лінійний характер.

Оптимізація робочих режимів процесу УФ сироватки з-під кислого сиру в тупиковому режимі і з використанням методу зниження поляризаційного шару дозволила побудувати тривимірні графічні залежності (рис. 3).

Найбільш раціональні режими мембранного концентрування виокремлені на графічних залежностях спеціальною штрихуванням.

Результати дослідження дозволили визначити, що максимальна ефективність мембранного концентрування сироватки з-під кислого сиру в звичайному режимі, а також із застосуванням барботування досягається при значеннях тиску фільтрації $0,4\text{--}0,5\text{ МПа}$, температури $40\ldots 50^{\circ}\text{C}$.

Аналізуючи результати математичного моделювання, можна зробити висновок, що з підвищенням температури від 20°C до $40\ldots 50^{\circ}\text{C}$ відбувається збільшення швидкості руху пермеату на $1,29\text{--}1,32$ раза при УФ-концентруванні сироватки з-під кислого сиру за ра-

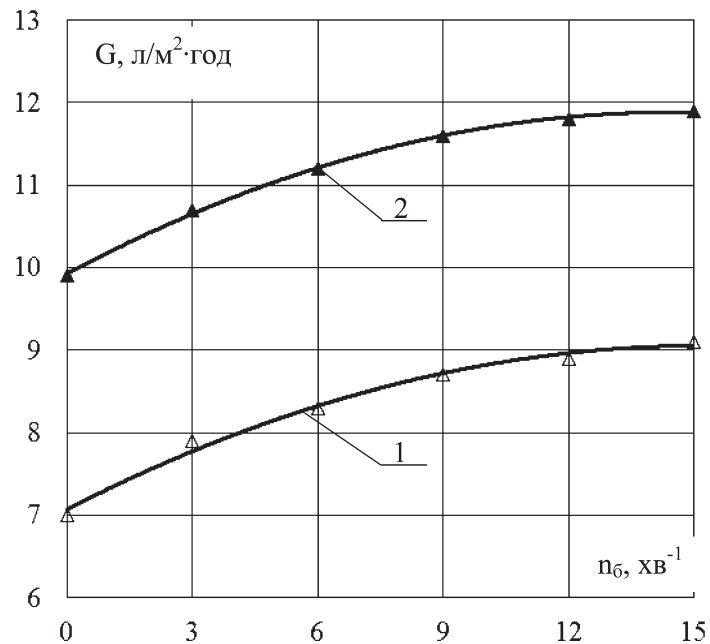


Рисунок 1 — Залежність продуктивності (G) УФ-мембран від частоти барботування (n_6) при УФ-концентруванні сироватки з-під кислого сиру (температура 20°C , тиск фільтрації $0,4\text{ МПа}$ і тиск барботування $0,46\text{ МПа}$): 1 — мембрана ПАН-50; 2 — мембрана ПАН-100

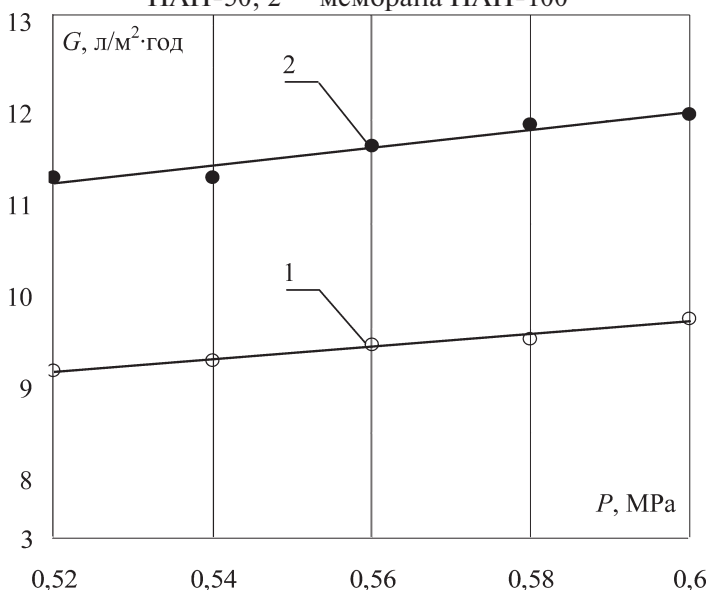


Рисунок 2 — Залежність продуктивності (G) УФ-мембран від тиску барботування (P_6) при УФ-концентруванні сироватки з-під кислого сиру (температура 20°C , тиск фільтрації $0,4\text{ МПа}$ і частота барботування $0,15\text{ хв}^{-1}$): 1 — мембрана ПАН-50; 2 — мембрана ПАН-100

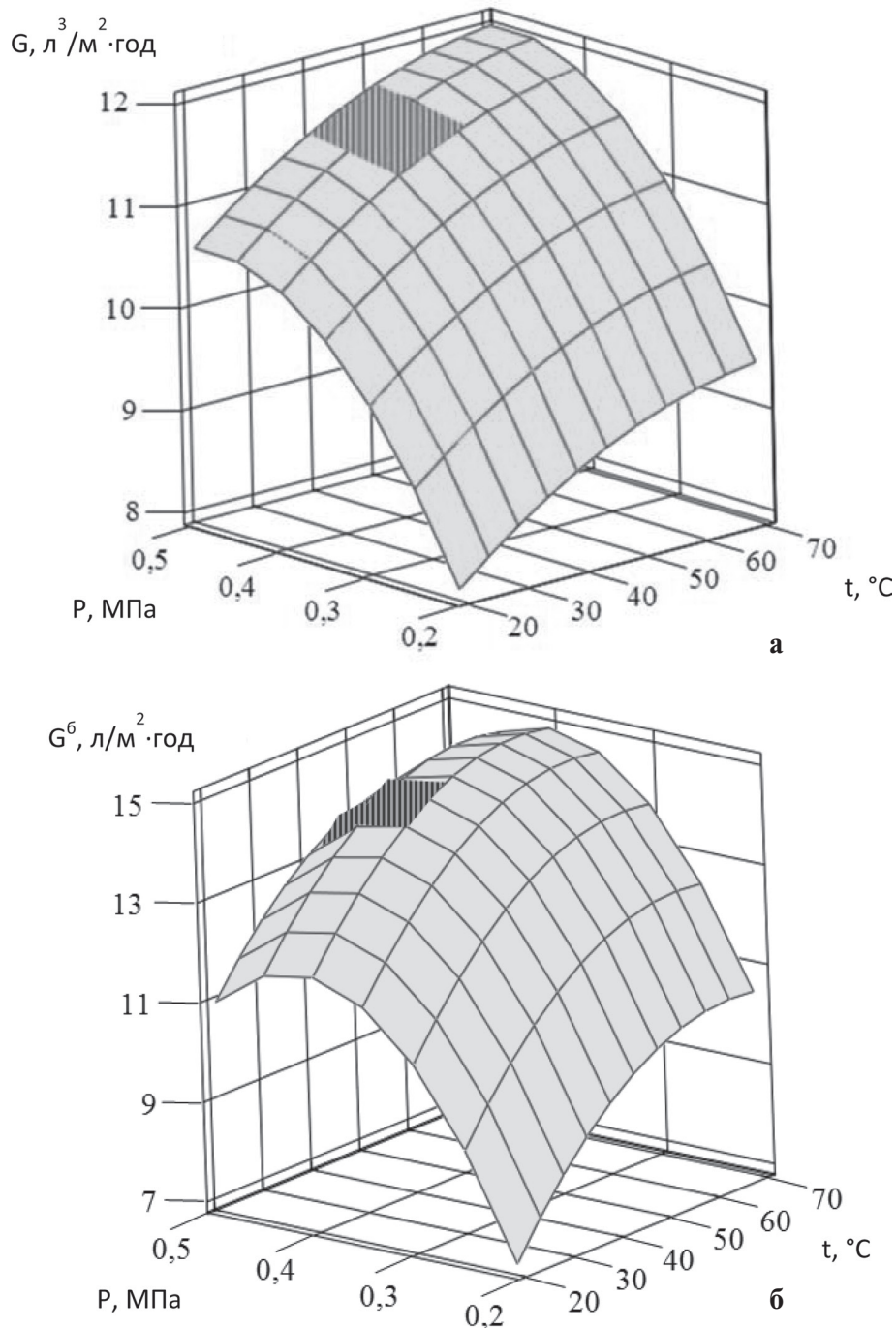


Рисунок 3 — Математична модель вибору параметрів роботи УФ-мембран типу ПАН при УФ-концентруванні сироватки з-під кислого сиру: а — звичайний режим; б — з барботуванням вихідної сировини при частоті $n_0 = 0,15 \text{ хв}^{-1}$ і тиску барботування $P_1 = 0,58 \text{ МПа}$

хунок зменшення його в'язкості. При подальшому ж підвищенні температури швидкість УФ-концентрування майже не змінюється, що можна пояснити прихованою коагуляцією білка [8; 19].

Зі збільшенням тиску процесу УФ видно, що продуктивність УФ-мембран інтенсивно збільшується при значеннях 0,3–0,4 МПа для звичайного режиму і 0,4–0,5 МПа з використанням методу барботування вихідної сировини, після чого значення продуктивності починає знижуватися. Очевидно, це пояснюється зростанням гідравлічного опору під час утворення на поверхні УФ-мембрани осаду [20].

Висновки. Сьогодні актуальним є питання створення нових технологій отримання сироваткових концентратів мембранними методами з використанням способів зниження

поляризаційного шару на поверхні напівпроникної мембрани, що сприяло б збільшенню продуктивності мембранного обладнання.

Отримано результати експериментів, що дозволяють визначити раціональні параметри проведення процесу УФ-концентрування сироватки з-під кислого сиру на мембранах типу ПАН із застосуванням барботування: тиск — 0,4–0,5 МПа, температура процесу — 40...50 °С, частота барботування — 0,10–0,15 хв⁻¹, тиск барботування — 0,56–0,58 МПа.

Встановлено, що в режимі барботування відбувається інтенсифікація процесу УФ-концентрування сироватки з-під кислого сиру порівняно з УФ в тупиковому режимі в 1,3–1,4 раза. Однак таке явище призводить лише до часткового усунення поляризаційного шару з поверхні мембрани.

Проведені дослідження є продовженням досліджень щодо вдосконалення мембранного концентрування харчових рідин з використанням нових мембран і методів зниження поляризаційного гель-шару.

Отримані результати можуть бути використані під час дослідження інших технологічних параметрів процесу мембранного концентрування білково-вуглеводної молочної сировини, а також для удосконалення апаратурного оснащення ліній з переробки вторинної молочної сировини.

Застосування запропонованого способу мембранного концентрування сироватки з-під кислого сиру дозволяє підвищити екологічну безпеку за рахунок маловідходності процесу, збільшити рентабельність за рахунок отримання нових молочних продуктів, а також підвищити складову ресурсозбереження під час впровадження вказаного способу у виробництво.

Список літератури

1. Archer R. H. Whey products. New Zealand Institute of Chemistry. URL : <http://nzic.org.nz>.
2. Назаренко Ю. В., Ященко С. Ю. Особливості використання молочної сироватки та ретентату, отримання високоякісних напоїв оздоровчого харчування. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. 2016. Вип. 2 (23). С. 127–142.
3. Jooyandeh H. Whey proteins: health benefits and food applications. *Journal of international research in medical and pharmaceutical sciences*. 2016. 9 (2), pp. 63–73. doi: 10.15406/japlr.2016.03.00083.
4. Богомолов В. Ю., Лазарев С. И. Промышленная переработка вторичного молочного сырья. *Вопросы современной науки и практики*. 2014. № 1 (50). С. 82–91.
5. *Энциклопедия питания*. Том 3. Характеристика продуктов питания / под общ. ред. Л. 3. Шильмана. Харьков : Мир Книг, 2014. 744 с.
6. Свитцов А. А. Введение в мембранную технологию. Москва : Дели принт, 2007. 208 с.
7. Konrad, G. Kleinschmidt T., Lorenz C. Ultrafiltration of whey buttermilk to obtain a phospholipid concentrate. *International Dairy Journal*. 2013. Vol. 30. Iss. 1. Pp. 39–44. doi: 10.1016/j.idairyj.2012.11.007.
8. Мирончук В. Г., Змієвський Ю. Г. Мембранні процеси в технології комплексної переробки сироватки : монографія. Київ : НУХТ, 2013. 153 с.
9. Baker R. W. *Membrane technology and applications*. Second edition. Chichester, England: John Wiley and Sons. 2004. 545 p. doi: 10.1002/0470020393.
10. Kumar P., Sharma N., Ranjan R., Kumar S. Perspective of Membrane Technology in Dairy Industry: A Review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2013. 9 (26). P. 1347–1358. doi: 10.5713/ajas.2013.13082.
11. Hu, K., Dickson, J. (2015) *Membrane Processing for Dairy Ingredient Separation*. Oxford : Wiley Blackwell, 269 p. doi: 10.1002/9781118590331.
12. Евдокимов Е. А., Володин Д. Н., Головкина М. В., Золотарёва М. С. и др. Обработка молочного сырья мембранными методами. *Молочная промышленность*. 2012. № 2. С. 49–50.

13. Li Y., Corredig M. Calcium release from milk concentrated by ultrafiltration and diafiltration. *Journal of dairy science*. 2014. 97 (95). P. 294–5302. doi: 10.12988/ams.2014.312698.
14. Дейниченко Г. В. та ін. Розробка пристрою для інтенсифікації процесу ультрафільтраційного концентрування рідких високомолекулярних полідисперсних систем. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2016. № 16. Т. 1. С. 70–75.
15. Lobasenko B., Semenov A. Intensification of ultrafiltration concentrating by the separation of the concentration boundary layer. *Foods and Raw Materials*. 2013. Vol. 1. No. 1. P. 74–81. <https://doi.org/10.12737/1560>.
16. Енциклопедія мембран : в 2 т. / упоряд. М. Т. Брик. Київ : Києво-Могилянська академія, 2005. Т. 1. 658 с.
17. Samarskii A. A., Mikhailov A. P. Principles of Mathematical Modeling. Boca Raton : CRC Press Taylor & Francis Group. 2018. 349 p. doi.org/10.1201/9781482288131.
18. Остапчук М. В., Станкевич Г. М. Математичне моделювання на ЕОМ : підручник. Одеса : Друк, 2006. 313 с.
19. Deynichenko G., Guzenko V., Udovenko O., Omelchenko A., Melnik O. Studying a new anti-polarization method in the process of ultrafiltration of skimmed milk. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. 6/11 (84). P. 4–8. doi: 10.21303/2504-5695.2016.00232.
20. Deynichenko G., Mazniak Z., Zolotukhina I., Gafurov O. Membrane concentration of non-fat milk stuff. *Industrial Engineering Journal «RECET»*. 2011. № 3 (33). P. 245–248.

References

1. Archer, R. H. Whey products. New Zealand Institute of Chemistry. URL : <http://nzic.org.nz>.
2. Nazarenko, Yu. V., Yashhenko, S. Yu. (2016). *Osoblyvosti vykorystannya molochnoyi syrovatky ta retentatu, otrymannya vysokoyakisnykh napoyiv ozdorovchogo kharchuvannya* [Features of the use of whey and retentate, obtaining high-quality health food drinks]. *Progresywni tekhnika ta tekhnologiyi kharchovych vyrobnytstv restorannogo gospodarstva i torgivli* [Advanced techniques and technologies of food production, restaurant business and trade], vol. 2 (23), pp. 127–142.
3. Jooyandeh, H. (2016). Whey proteins: health benefits and food applications. *Journal of international research in medical and pharmaceutical sciences*, 9 (2), pp. 63–73. doi: 10.15406/japlr.2016.03.00083.
4. Bogomolov, V., Lazarev, S. (2014). *Promyshlennaja pererabotka vtorichnogo molochnogo syrja* [Industrial processing of secondary dairy raw materials]. *Voprosy sovremennoj nauki i praktiki* [Issues of modern science and practice], no. 1 (50), pp. 82–91.
5. Shilman, L. and other (2014). *Entsyklopedija pitaniia. Harakteristika produktov pitaniia*. [Encyclopedia of food. Characteristics of food], vol. 3. Kharkiv, Mir Knig Publ.
6. Svitcov, A. A. (2007), *Vvedenie v membrannuju tehnologiju* [Introduction to membrane technology]. Moscow, Deli print Publ.
7. Konrad, G. Kleinschmidt, T., Lorenz, C. (2013). Ultrafiltration of whey buttermilk to obtain a phospholipid concentrate. *International Dairy Journal*, vol. 30, iss. 1, pp. 39–44. doi: 10.1016/j.idairyj.2012.11.007.
8. Myronchuk V. H., Zmiievskiy Yu. H. (2013). *Membrani protsesy v tekhnologii kompleksnoi pererobky syrovatky* [Membrane processes in technology of whey processing complex]. Kyiv, NUXT Publ.
9. Baker, R. W. (2004). Membrane technology and applications. Second edition. Chichester, England: John Wiley and Sons,. 545 p. doi: 10.1002/0470020393.
10. Kumar, P., Sharma, N., Ranjan, R., Kumar, S. (2013). Perspective of Membrane Technology in Dairy Industry: A Review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 9, 26, pp. 1347–1358. doi: 10.5713/ajas.2013.13082.
11. Hu, K., Dickson, J. (2015) Membrane Processing for Dairy Ingredient Separation. Oxford : Wiley Blackwell,. 269 p. doi: 10.1002/9781118590331.
12. Evdokimov, E., Volodin, D., Golovkina, M., Zolotareva, M. (2012). *Obrabotka molochnogo syr'ja membrannymi metodami* [Processing raw milk membrane methods], *Molochnaja promyshlennost'* [Dairy industry], no. 2, pp. 49–50.

13. Li, Y., Corredig, M. (2014). Calcium release from milk concentrated by ultrafiltration and diafiltration. *Journal of dairy science*, 97 (95), pp. 294–5302. doi: 10.12988/ams.2014.312698.
14. Deynichenko, G. V., Maznyak, Z. O., Guzenko, V. V., Udovenko, O. O., Omelchenko, O. V. (2016). *Rozrobka prystroiu dlia intensyfikatsii protsesu ultrafiltratsiinoho kontsentrivannia ridkykh vysokomolekuliarnykh polidispersnykh system* [Development of a device for intensifying the process of ultrafiltration high-concentration liquid polydisperse systems]. *Pratsi Tavriyskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu* [Proceedings of the Tavriya State Agrotechnological University], no. 16 (1), pp. 70–75.
15. Lobasenko, B., Semenov, A. (2013). Intensification of ultrafiltration concentrating by the separation of the concentration boundary layer. *Foods and Raw Materials*, vol. 1, no. 1, pp. 74–81. <https://doi.org/10.12737/1560>.
16. Bryk, M. T. (2005). *Entsyklopediya membran* [Encyclopedia of membranes], vol. 1. Kyiv, Kyievo-Mohylyanska akademiya Publ.
17. Samarskii, A. A., Mikhailov, A. P. (2018). Principles of Mathematical Modeling. Boca Raton : CRC Press Taylor & Francis Group, . 349 p. doi.org/10.1201/9781482288131.
18. Ostapchuk, M., Stankevych, G. (2006). *Matematychni modelyuvannya na EOM*. [Mathematical modeling on a computer]. Odesa, Druk Publ.
19. Deynichenko, G., Guzenko, V., Udovenko, O., Omelchenko, A., Melnik, O. (2016). Studying a new anti-polarization method in the process of ultrafiltration of skimmed milk. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no. 6/11 (84), pp. 4–8. doi: 10.21303/2504-5695.2016.00232.
20. Deynichenko, G., Mazniak, Z., Zolotukhina, I., Gafurov, O. (2011). Membrane concentration of non-fat milk stuff. *Industrial Engineering Journal "RECET"*, no. 3 (33), pp. 245–248.

Objective. The purpose of the article is to study the concentration of whey from sour cheese through the ultra-filtration membrane using the method of process intensification.

Methods. In order to accelerate the process of UF-concentration of skim milk, a method was proposed to combat the polarizing layer with the bubbling the treated food liquids with air bubbles or inert gas in close proximity to the surface of semi-permeable UF-membranes. Acceleration of the ultra-filtration process occurs due to the combined effect on the gel formed on the surface of the membrane, bubbling pressure, turbulence of the flows of the treated fluid and the hydraulic impact of the liquid on the surface of the UF-membrane.

To study the effect of bubbling on the process of ultra-filtration separation of food liquid include a bubbling compressor, which through the bubbling device creates turbulence systems on the surface of the semi-permeable membrane. In the process of ultra-filtration, the permeate passes through the pores of the membranes, discharged from the filter module when using the fitting and collected in a container. The ultrafiltration concentrate of the separated liquid, upon reaching the required concentration factor values, is taken from the filter module using a tap.

Results. The results of experimental studies on the application of the bubbling method to reduce the polarization layer in the processes of ultra-filtration concentration of whey from sour cheese and its effect on the productivity of ultra-filtration membranes are presented. A mathematical model based on the regression equation of a factorial experiment using methods of bubbling liquid separated above the surface of the membranes to select the technological parameters of the process of membrane concentration of whey from sour cheese. Rational parameters of ultra-filtration concentration of whey from sour cheese were determined using methods of bubbling raw materials with gas bubbles in the immediate vicinity of the surfaces of the ultra-filtration membrane. According to the results of the study, it was established the feasibility of using a new method of removing the gel layer.

Keywords: curdy whey, process, membrane, ultra-filtration, bubbling