

## УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

УДК 628.161

*Омельченко О. В., канд. техн. наук<sup>1</sup>*

*Гузенко В. В., канд. техн. наук<sup>2</sup>*

*Перекрест Н. Г., студент<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: omelchenko@donnuet.edu.ua.

<sup>2</sup> Харківський державний університет харчування та торгівлі (м. Харків, Україна), e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

### ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ В ПРОЦЕСІ УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЙНОГО КОНЦЕНТРУВАННЯ СКОЛОТИН

UDC 628.161

*Omelchenko O. V., PhD in Engineering sciences<sup>1</sup>*

*Guzenko V. V., PhD in Engineering sciences<sup>2</sup>*

*Perekrest N. G., Student<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky (Kriviy Rih, Ukraine), email: omelchenko@donnuet.edu.ua.

<sup>2</sup> Kharkov State University of Food Technology and Trade (Kharkov, Ukraine), e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

### INTENSIFICATION OF THE PROCESS OF ULTRAFILTRATION CONCENTRATION BUTTERMILK

**Мета.** Мета статті полягає у дослідженні продуктивності напівпроникних ультрафільтраційних мембран в процесі УФ-концентрування сколотин з використанням методів інтенсифікації.

**Методи.** Для інтенсифікації процесу УФ-концентрування молочної сировини було використано подачу вихідної сировини, що пульсує та барботування над поверхнею мембрани. Інтенсифікація процесу ультрафільтрації відбувається за рахунок сукупності впливів на гель-шар, що утворюється на поверхні мембрани, по-періодичного розрядження тиску в напірному каналі і гідравлічного удару рідини об поверхню мембрани.

**Результати.** Описано властивості сколотин як молочної сировини щодо її харчової цінності, особливості технології її переробки з метою виготовлення продуктів харчування. Позначено переваги застосування мембранних процесів (ультрафільтрації) в харчовій промисловості при переробці молочної сировини, а також питання труднощів розвитку мембранних процесів (ультрафільтрації) в молочній промисловості. Наведено результати експериментальних досліджень щодо впливу способів інтенсифікації мембранної обробки сколотин на продуктивність ультрафільтраційних мембран. Визначено раціональні робочі параметри проведення процесу ультрафільтраційного концентрування сколотин в режимах пульсуючої подачі вихідної сировини і барботуванні сколотин бульбашками газу в безпосередній близькості від поверхні мембрани. Удосконалено науково-методичний підхід до використання мембранних процесів із метою розробки технологій концентрування знежиреної молочної сировини (сколотин). Отримані результати спрямовані на подальші дослідження щодо визначення раціональних параметрів процесів мембранної обробки знежиреної молочної сировини, що дозволить застосовувати одержані результати в процесах переробки вторинної молочної сировини для потреб харчової промисловості.

**Ключові слова:** сколотини, процес, мембрана, ультрафільтрація, концентрування.

**Постановка проблеми.** Сколотини — цінна харчова та дієтична сировина, що обумовлює необхідність її повного збору та використання виключно для виробництва продуктів харчування. Сколотини відрізняються від знежиреного молока за вмістом жиру (в сколотинах його приблизно у 10 разів більше) і вмістом БАР (наприклад, в сколотинах фосфатидів в 11 разів більше, ніж у знежиреному молоці) [1; 2].

Асортимент продуктів зі сколотин налічує кілька десятків найменувань (понад 50) і постійно розширюється. Продукти зі сколотин за видовими особливостями можна розділити на такі групи: напої свіжі, напої кисломолочні, білкові продукти, сири, морозиво, десерти, йогурти, маслянка згущена і суха. Технологія виготовлення продуктів зі сколотин аналогічна технології виготовлення продуктів із цільного і знежиреного молока [3–5].

Висока харчова і дієтична цінність сколотин обумовлює необхідність виробництва з неї продуктів харчування. У той же час її специфічні властивості відображаються на технології. Ці властивості зумовлені хімічним складом сколотин, структурно-механічними характеристиками, агрегатним станом компонентів у системі і міжфазною взаємодією, що необхідно враховувати при організації промислової переробки. У практичному плані становлять інтерес процеси відділення жиру сепаруванням, коагуляції білків, згущення, сушіння та розділення компонентів молекулярно-ситовою фільтрацією (ультрафільтрацією) [6; 7].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значення мембранної технології в Україні і за кордоном за останні роки зростає, насамперед, як технології, яка має можливість навести мости через прірву, що розділяє промисловість та екологію. Мембранна технологія отримала статус критичної технології національного рівня так само, як каталіз, молекулярний дизайн, нові матеріали, генна інженерія та інші світові пріоритети [8; 9].

Молочна промисловість як галузь, що характеризується високим рівнем утворення відходів, і є об'єктом широкого застосування ультрафільтраційних (УФ) процесів. Традиційно УФ використовується для відокремлення білків з білково-вуглеводної молочної сировини — знежиреного молока, сколотин, молочної сироватки, а також концентрування молока з метою підвищення виходу сирних згустків і скорочення виробничих витрат [10; 11].

Поряд з цим розвинення галузі нанотехнологій дозволило створити цілу низку мембран нового покоління, які мають широку сферу застосування. Це у свою чергу сприяє створенню нових технологій, у тому числі і в умовах переробки сколотин [12].

Тим не менш явну роль стримування у подальшому розвитку ультрафільтраційних методів переробки молочної сировини грає недостатня кількість наукових досліджень процесів його УФ-переробки, невисока питома продуктивність мембран, обумовлена специфічними властивостями високомолекулярних речовин молочної сировини, практична відсутність вітчизняних ультрафільтраційних установок малої продуктивності, що пояснюється недостатньою кількістю експериментальних даних, необхідних для розрахунку процесу та обладнання УФ-переробки [13].

**Мета статті** — дослідження продуктивності напівпроникних ультрафільтраційних мембран в процесі УФ-концентрування сколотин з використанням методів інтенсифікації.

Для досягнення заданої мети необхідно вирішити такі завдання:

- дати характеристику сучасному стану одержання концентратів зі сколотин;
- провести дослідження процесу ультрафільтраційного концентрування сколотин;
- проаналізувати отримані результати дослідження та визначити раціональні параметри ультрафільтраційного концентрування сколотин.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** На кафедрі устаткування харчової та готельної індустрії ім. М. І. Беляєва були проведені дослідження щодо вибору оптимальних параметрів проведення УФ-концентрування сколотин. З метою удосконалення процесу мембранної обробки сколотин нами були задіяні методи усунення поляризаційного шару, де використовуються різні фізичні явища та механічні процеси.

В якості першого методу інтенсифікації було запропоновано використання в процесі концентрування пульсуючої подачі вихідної сировини (рис. 1). З цією метою був розроблений мембранний модуль для обробки біологічних рідин в режимі пульсації [14]. Дру-

гим методом інтенсифікації процесу ультрафільтрації молочної сировини було запропоновано спосіб барботування систем, що обробляються бульбашками повітря або інертного газу в безпосередній близькості від поверхні напівпроникних мембран [15].

З метою визначення характеристик процесу УФ-концентрування сколотин нами була використана математична модель за методом планування експерименту. Рівняння регресії, отримані шляхом дослідження зміни параметрів УФ-концентрування сколотин, забезпечують вивчення процесів, які проходять під час ультрафільтрації молочної сировини, а також визначення оптимальних умов УФ-концентрування сколотин для отримання концентратів з різним значенням продуктивності УФ-мембран типу ГР і ПАН [16].

Аналіз даних рис. 1 свідчить, що збільшення частоти пульсуючої подачі вихідної сировини призводить до підвищення продуктивності УФ-мембран. Інтенсивне підвищення продуктивності обох мембран відбувається зі збільшенням частоти пульсуючої подачі до значень 90...100  $\text{хв}^{-1}$ , після чого показники продуктивності стабілізуються.

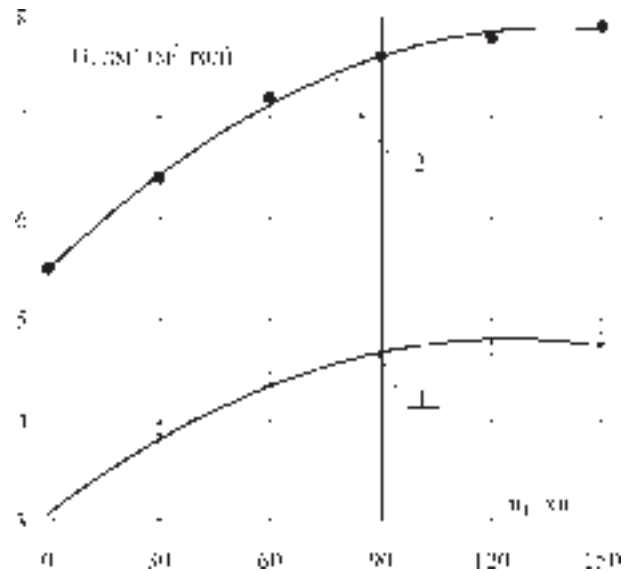
Подальші дослідження залежності продуктивності досліджуваних УФ-мембран від частоти барботування сколотин, що розділяються при температурі 20 °С і тиску фільтрації 0,4 МПа, наведено на рис. 2.

З рисунка видно, що інтенсивне підвищення продуктивності обох мембран відбувається за збільшення частоти барботування до значень 0,10...0,15  $\text{хв}^{-1}$ , після чого показники продуктивності при УФ-розділенні сколотин стабілізуються.

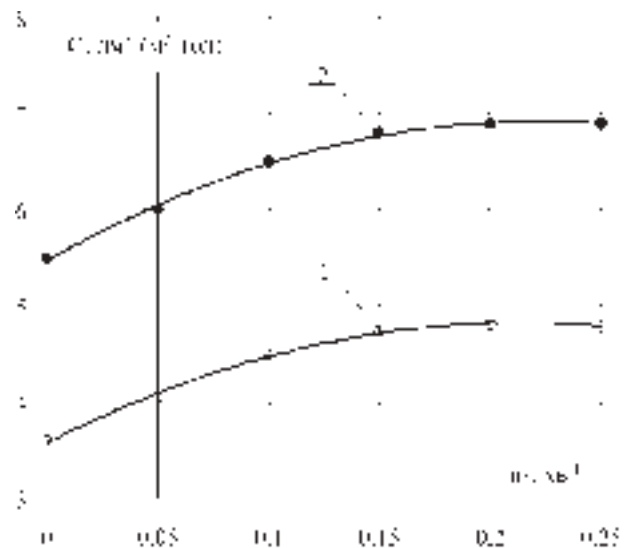
Крім частоти барботування молочної сировини, що розділяється, вплив на створення гідродинамічних умов біля поверхні напівпроникних УФ-мембран має також тиск барботування. Тому на наступному етапі досліджували вплив тиску барботування на продуктивність мембран типу ПАН. Результати досліджень наведено на рис. 3.

З даних рис. 3 випливає, що тиск барботування впливає на процес УФ значно меншою мірою, ніж частота барботування. З підвищенням значень тиску барботування продуктивність УФ-мембран типу ПАН монотонно збільшується, причому ця залежність носить лінійний характер.

Раціональним інтервалом тиску барботування слід вважати значення 0,56...0,58 МПа, оскільки вони більшою мірою сприяють підвищенню продуктивності ультрафільтрацій-



**Рисунок 1** — Залежність продуктивності мембран від частоти пульсуючої подачі ( $n_1$ ) вихідної сировини при ультрафільтраційного поділу сколотин при температурі 20 °С і тиску 0,5 МПа: 1 — мембрана ГР81ПП; 2 — мембрана ГР61ПП



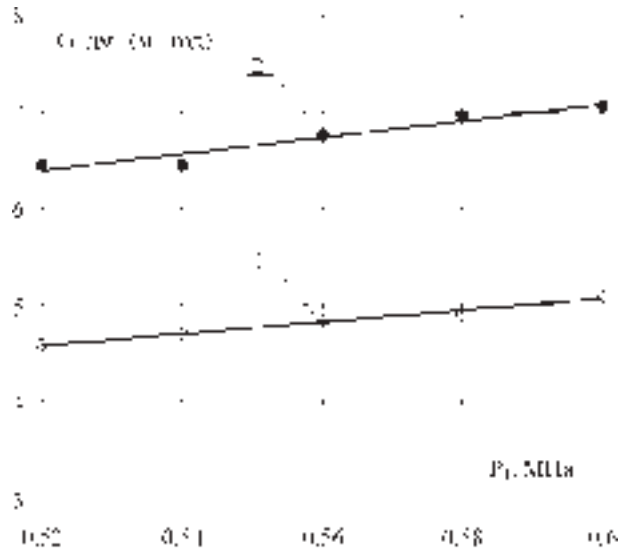
**Рисунок 2** — Залежність продуктивності ( $G$ ) УФ-мембран від частоти барботування ( $n_2$ ) оброблюваної сировини при мембранному розділенні сколотин (температура 20 °С, тиск фільтрації 0,4 МПа і тиск барботування 0,46 МПа): 1 — мембрана ПАН-50; 2 — мембрана ПАН-100

них мембран типу ПАН, однак при цьому критичного значення тиску в УФ-модулі не досягається.

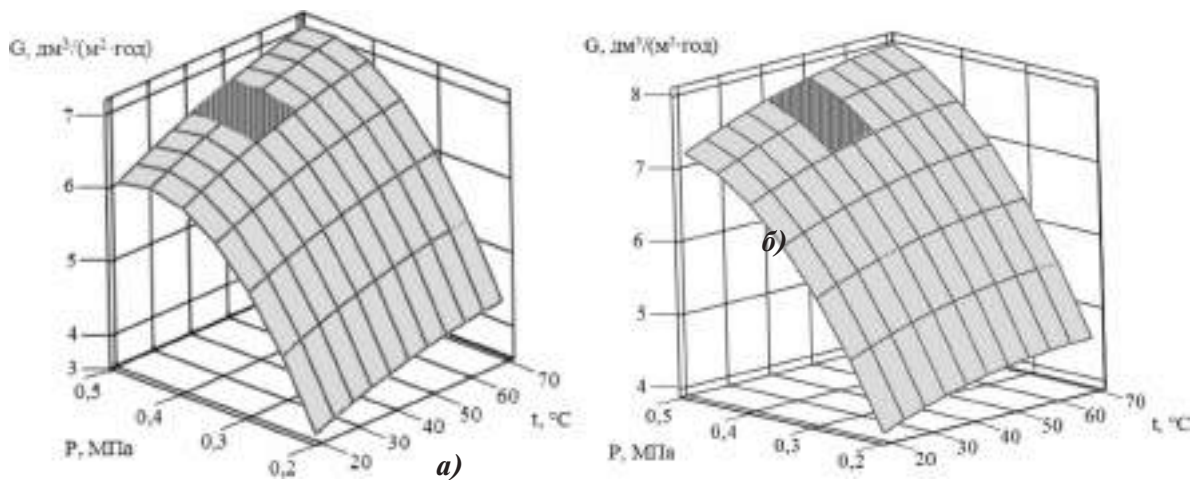
За допомогою створеної нами математичної моделі були визначені умови проведення процесу УФ-концентрування з використанням напівпроникних мембран типу ГР і ПАН для забезпечення раціональних показників продуктивності, а також можливого максимального значення зазначеної характеристики оптимальних параметрів [21].

Оптимізація технологічних режимів процесу УФ молочної сировини, що досліджувалася в тупиковому режимі та з використанням методів інтенсифікації, дозволила отримати об'ємні графічні залежності, що характеризують зазначені процеси (рис. 4–5). Найбільш раціональні режими проведення процесів УФ-концентрування позначені на графічних залежностях відповідним штрихуванням.

Експериментальні дослідження технологічних режимів із застосуванням математичної моделі дозволили визначити раціональні технологічні параметри проведення УФ-



**Рисунок 3** — Залежність продуктивності (G) УФ-мембран від тиску барботування ( $P_1$ ) за мембранного розділення скотин за температури 20 °С, тиску фільтрації 0,4 МПа і частотою барботуванні 0,15 хв<sup>-1</sup>: 1 — мембрана ПАН-50; 2 — мембрана ПАН-100

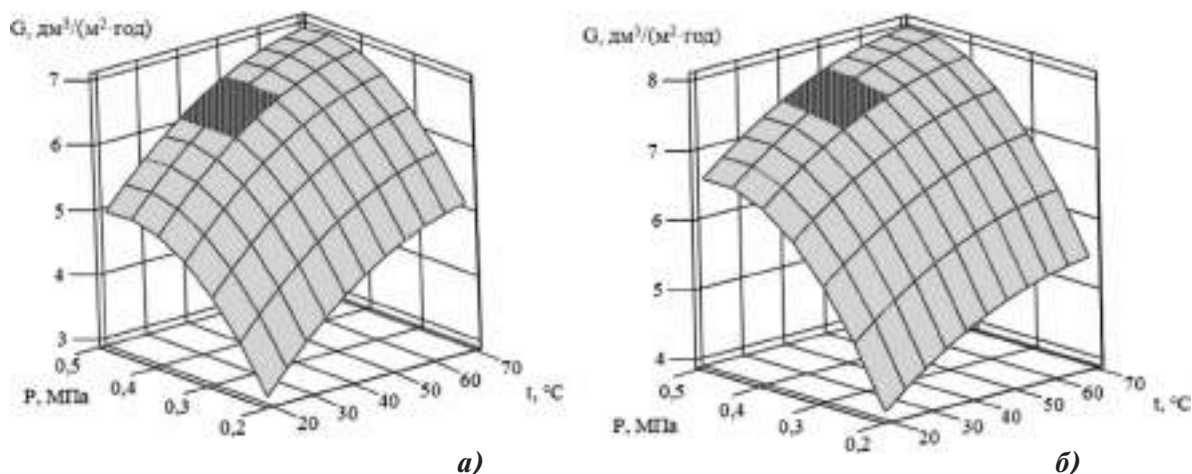


**Рисунок 4** — Оптимізація технологічних параметрів напівпроникних мембран типу ГР при УФ-концентруванні скотини в тупиковому режимі (а) і в режимі з пульсуючою подачею вихідної сировини при частоті пульсуючої подачі  $n_1 = 90$  хв<sup>-1</sup> (б)

концентрування скотини в тупиковому режимі і в режимах інтенсифікації з використанням УФ-мембран типу ГР і ПАН. Максимальна ефективність процесу УФ скотини в тупиковому режимі, а також із застосуванням пульсації і барботування вихідної сировини досягається при значеннях тиску фільтрації — 0,4... 0,5 МПа, температури мембранної обробки молочної сировини — 40... 50 °С.

**Висновки.** Таким чином, визначені у статті перспективи використання процесів мембранної обробки при переробці білково-вуглеводної молочної сировини зумовлюють необхідність проведення досліджень процесу УФ-концентрування скотини із застосуванням методів їхньої інтенсифікації.

На підставі комплексу проведених експериментальних досліджень можна зробити висновок, що пульсуюча подача вихідної сировини і барботування оброблюваної системи



**Рисунок 5** — Оптимізація технологічних параметрів напівпроникних мембран типу ПАН при УФ-концентруванні сколотин в тупиковому режимі (а) і в режимі барботування при частоті барботування  $n_2 = 0,15 \text{ хв}^{-1}$ ; тиску барботування  $P_1 = 0,58 \text{ МПа}$  (б)

суттєво інтенсифікує процес ультрафільтрації сколотин. Найбільш раціональними режимами процесу УФ-концентрування сколотин з використанням напівпроникних мембран типу ГР і ПАН із застосуванням методів інтенсифікації є тиск — 0,4...0,5 МПа, температура сколотин — 40...50 °С, частота пульсуючої подачі — 90...100  $\text{хв}^{-1}$ , частота барботування сколотин — 0,10...0,15  $\text{хв}^{-1}$ , тиск барботування має дорівнювати 0,56...0,58 МПа. Отримані результати можуть бути використані при дослідженні інших параметрів процесу ультрафільтрації сколотин, що дозволить ввести отримані результати на об'єктах переробки знежиреної молочної сировини.

#### Список літератури/References

1. Крусь, Г. Н. Технология молока и молочных продуктов / Г. Н. Крусь, А. Г. Храмов, З. В. Волокитина, С. В. Карпычев. — М. : Колос, 2003. — 315 с.  
Krus', G., Hramcov, A., Volokitina, Z., & Karpychev, S. (2003). *Tehnologija moloka i molochnyh produktov* [Technology of milk and dairy products], Moscow, Kolos Publ., 315 p.
2. Золотухіна, І. В. Технологія напівфабрикатів на основі сколотин для виробництва збитої десертної продукції : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.16 / Золотухіна І. В.. — Захищено на 22.11.06. — X., 2006. — 342 с.  
Zolotukhina, I. V. (2006). *Tekhnologhija napivfabrykativ na osnovi skolotyln dlja vyrobnytva zbytoji desertnoji produkciji* [Technology-based semi buttermilk for the production of whipped products dysertnoyi]. Kharkov, 342 p.
3. Sodini, I., Morin, P., Olabi, A. & Jime'nez-Flores, R. (2006). Compositional and functional properties of buttermilk: a comparison between sweet, sour, and whey buttermilk. *J. of Dairy Science*, no. 89, vol. 2, pp. 525–536.
4. Дейниченко, Г. Молочно-белковые десерты / Г. Дейниченко, И. Золотухина, Е. Сефиханова // Питание и общество. — № 12. — 2011. — С. 27.  
Deynychenko, G., Zolotukhina, I. & Sefihanova, E. (2011). *Molochno-belkovye deserty* [Milk-protein desserts]. *Pitanie i obshhestvo* [Feed and society], no. 12, pp. 27.
5. Волкова, Т. А. Сухие концентраты на основе вторичного молочного сырья / Т. А. Волкова, Э. Ф. Кравченко // Сыроделие и маслоделие. — 2003. — № 4. — С. 34.  
Volkova, T. & Kravchenko, Je. (2003). *Sukhie kontsentraty na osnovе vtorichnogo molochnogo syr'ya* [Dry concentrates based on secondary dairy raw materials]. *Syrodelle i maslodelle* [Cheese-making and buttermaking], no. 4, pp. 34.
6. Юдіна, Т. І. Дослідження якості молочно-рослинних фаршів на основі концентрату зі сколотин / Т. І. Юдіна, І. А. Назаренко, Р. П. Никифоров // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — № 10 (75). — Т. 3. — 2015. — С. 10–14.  
Yudina, T., Nazarenko, I. & Nykyforov, R. (2015). *Doslidzhennja yakosti molochno-roslynnykh farshiv na osnovi koncentratu zi skolotyln* [Research quality dairy plant based on ground meat

concentrate from buttermilk]. *Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij* [East-European magazine of front-rank technologies], no. 10 (75), vol. 3, pp. 10–14.

7. Konrad, G., Kleinschmidt, T., Lorenz, C. (2013). Ultrafiltration of whey buttermilk to obtain a phospholipid concentrate. *International Dairy Journal*, no. 30, vol. 1, pp. 39–44.

8. Энциклопедия питания. Том 3. Характеристика продуктов питания / А. А. Дубинина, Л. З. Шильман, Г. В. Дейниченко и др.; под общ. ред. Л. З. Шильмана. — Х. : Мир Книг, 2014. — 744 с.

Dubinina, A., Shil'man, L., Dejnichenko, G. & others (2014). *Jenciklopedija pitaniya. Karakteristika produktov pitaniya*. [Encyclopaedia of feed, vol. 3. Description of food stuffs]. Kharkow, Mir Knig Publ., 744 p.

9. Deynichenko G. Analytical characteristics of modern processes water treatment / G. Deynichenko, Z. Mazniak, V. Guzenko, V. Danilenko // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. праць. — Х. : ХДУХТ, 2015. — Вип. 1 (21). — С. 103–113.

Deynichenko, G., Mazniak, Z., Guzenko, V., Danilenko, V. (2015). Analytical characteristics of modern processes water treatment. *Progressive technique and technologies of food productions of restaurant economy and trade*, no. 1 (21), pp. 103–113.

10. Свитцов, А. А. Введение в мембранную технологию / А. А. Свитцов. — М. : Дели принт, 2007. — 208 с.

Svitsov, A. A. (2007). *Vvedenie v membrannuju tehnologiju* [Introduction to membrane technology], Moscow, Deli print Publ., 208 p.

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

Myronchuk, V. G. and Zmijevskij, Yu. G. (2013). *Membrani procesy v tekhnologhiji kompleksnoji pererobky syrovatky* [Membrane processes in technology of whey processing complex]. Kyiv, NUXT, 153 p.

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

Bryk, M. T. (2005). *Entsyklopediya membran* [Encyclopedia of membran], vol. 1. Kyiv, Kyuevo-Mohulyans'ka akademiya Publ., 658 p.

13. Deinychenko, G., Mazniak, Z., Kramarenko, D. Guzenko, V. (2015). Determination of ultrafiltration membranes shrinkage factor. *Ukrainian Food Journal*, Vol. 4, Is. 2, pp. 328–334.

14. Дейниченко, Г. В. Розробка пристрою для інтенсифікації процесу ультрафільтраційного концентрування рідких високомолекулярних полідисперсних систем [Текст] / Г. В. Дейниченко, З. О. Мазняк, В. В. Гузенко, О. О. Удовенко, О. В. Омельченко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. — 2016. — Вип. 16. — Т. 1. — С. 70–75.

Deynychenko, G. V., Maznyak, Z. O., Guzenko, V. V., Udovenko, O. O., Omel'chenko, O. V. (2016). *Rozrobka prystroju dlja intensyfikaciji procesu uljtrafiljtracijnogho koncentruvannja ridkykh vysokomolekuljarnykh polidispersnykh system* [Development of a device for intensifying the process of ultrafiltration high-concentration liquid polydisperse systems]. *Pratsi Tavriys'koho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu* [Labours Tavriyskogo state agrotechnological university], no. 16, vol. 1, pp. 70–75.

15. Дейниченко, Г. В. Ультрафільтраційні процеси та технології раціональної переробки білково-вуглеводної молочної сировини: моног. / Г. В. Дейниченко, З. О. Мазняк, І. В. Золотухина. — Х. : Факт, 2008. — 208 с.

Dejnichenko, G. V., Maznyak, Z. O. & Zolotuhina, I. V. (2008). *Uljtrafiljtracijni procesy ta tekhnologhiji racionaljnoji pererobky bilkovo-vughleводnoji molochnoji syrovyny* [Multifiltering processes and technology rational processing of Ultrafiltration Protein-Carbohydrate Raw Milk]. Kharkiv, Fakt Publ., 208 p.

16. Дьяконов В. П. Справочник по MathCAD PLUS 6.0 PRO / В. П. Дьяконов. — М. : СК Пресс, 1997. — 336 с.

D'jakonov, V. P. (1997). *Spravochnik po MathCAD PLUS 6.0 PRO* [Directory of MathCAD PLUS 6.0 PRO]. Moskow, SK Press Publ., 336 p.

**Цель.** Цель статьи заключается в исследовании производительности полупроницаемых ультрафильтрационных мембран в процессе УФ-концентрирования пахты с использованием методов интенсификации.

**Методы.** Для интенсификации процесса УФ-концентрирования молочного сырья было использовано пульсирующую подачу исходного сырья и барботирование над поверхностью мембраны. Интенсификация процесса ультрафильтрации происходит за счет совокупности воздействий на гель-слой, образующийся на поверхности мембраны, по периодическому разряжению давления в напорном канале и гидравлическому удару жидкости о поверхность мембраны.

**Результаты.** Показано современное состояние переработки пахты на предприятиях молочной промышленности. Обозначены преимущества применения мембранных процессов (ультрафильтрации) в пищевой промышленности при переработке молочного сырья, а также вопросы трудности развития мембранных процессов (ультрафильтрации) в молочной промышленности. Приведены результаты экспериментальных исследований относительно влияния способов интенсификации мембранной обработки пахты на производительность ультрафильтрационных мембран. Построены математические модели оптимизации технологических параметров полупроницаемых мембран с применением методов интенсификации процесса ультрафильтрационного концентрирования пахты. Определены рациональные рабочие параметры проведения процесса ультрафильтрационного концентрирования пахты в режимах пульсирующей подачи исходного сырья и барботирования пахты пузырьками газа в непосредственной близости от поверхности мембраны. Усовершенствован научно-методический подход к использованию мембранных процессов с целью разработки технологий концентрирования обезжиренного молочного сырья (пахты). Полученные результаты направлены на дальнейшие исследования по определению рациональных параметров процессов мембранной обработки обезжиренного молочного сырья, что позволит применять полученные результаты в процессах переработки вторичного молочного сырья для нужд пищевой промышленности.

**Ключевые слова:** пахта, процесс, разделение, мембрана, ультрафильтрация, концентрирование.

**Objective.** The purpose of this article is to study the performance of ultrafiltration of semipermeable membranes in the process of UVconcentration of buttermilk using methods of intensification.

**Methods.** For intensification of UVconcentration process of dairy raw material the pulsating serve of feedstock and barbotirovanie above the surface of membrane was used. Intensification of ultrafiltration process takes place due to impacts on the gel layer, forming on the membrane surface, on the periodic discharging of pressure in a pressure channel and water hammer of liquid at the membrane surface.

**Results.** The modern state of buttermilk processing at the the dairy industry enterprises is shown. Advantages of application of membrane processes (ultrafiltration) in the food industry in the processing of raw milk, as well as issues of development difficulties of membrane processes (ultrafiltration) in the dairy industry are designated. The results of experimental researches of influence of an intensification ways of membrane processing of buttermilk on the performance of ultrafiltration membranes are given. Mathematical models of optimization of technological parameters of semipermeable membranes with application of methods of intensification of the process of ultrafiltration concentrating of buttermilk are constructed. The rational operating parameters of the process of ultrafiltration concentrating of buttermilk in modes of pulsating supply of feedstock and bubbling of buttermilk with gas bubbles in the immediate vicinity of the membrane surface are determined. The scientific methodological approach to the use of membrane processes has been improved with the aim of developing technologies for concentrating skim milk products (buttermilk). The obtained results are directed to further research on the determination of rational parameters of the membrane processing of skimmed milk raw materials, which will allow to apply the results obtained in the processing of secondary dairy raw materials for the needs of the food industry.

**Key words:** buttermilk, process, membrane, ultrafiltration, concentration.