



Науковий вісник Львівського національного університету  
ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького

Scientific Messenger of Lviv National University  
of Veterinary Medicine and Biotechnologies

ISSN 2519–268X print  
ISSN 2518–1327 online

doi: 10.15421/nvlvet8512  
<http://nvlvet.com.ua/>

UDC 637.247:637.044-021.146.4

## Investigation of membrane process for the lactose extract from buttermilk concentrates

S. Bondar, A. Trubnikova, O. Chabanova

Odessa national Academy of food technologies, Odessa, Ukraine

### Article info

Received 06.02.2018  
Received in revised form  
06.03.2018  
Accepted 12.03.2018

Odessa National Academy of Food  
Technologies, Kanatna, 112,  
Odessa, 65039, Ukraine.  
Tel.: +38-095-045-30-31  
E-mail: sc228004@ukr.net

**Bondar, S., Trubnikova, A., & Chabanova, O. (2018). Investigation of membrane process for the lactose extract from buttermilk concentrates. Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. 20(85), 62–69. doi: 10.15421/nvlvet8512**

Improving dairy production technologies, including ice cream, from the secondary raw materials through the introduction of innovative technologies allows you to save energy and resources. Buttermilk as a secondary material resource has valuable properties. They are due to the content of proteins, phospholipids, vitamin F, and others. Application of a butter-milk as a basis for lactose and low-calcined products, including ice cream is restrained by the content of lactose at the milk level. Among the known methods for the removal of lactose are widely used enzymes, membranes and their combination. The presented work is aimed at studying the main dependencies of the membrane treatment of the buttermilk by ultra- and diafiltration with nano-filtration permeate obtained by appropriate treatment of the oil filtration fluid permeate. In experiments, hollow-fiber ultrafiltration (UV) membranes VPU-15 and nano-filtration (NF) flat membranes OPMN-P produced by «Владуно» (Russia) were used. Both types of membranes were used as part of laboratory membrane installations. The study used standard methods for determining the components of the buttermilk and its products UV and NF. For each membrane, filtrate performance and selectivity were determined depending on the operating parameters of UV permeate nanofiltration and diafiltration (DF). UV retentate of the buttermilk on hollow fibers at a pressure of 0.15 MPa and a temperature of 50 °C. was obtained at a concentration factor  $F = 4$ . The low selectivity of the VPU-15 membrane for lactose (4%) and high protein (99.6%) have been established. The nanofiltration of UV buttermilk permeate was carried out at a pressure range of 0.5 ... 2.0 MPa. From 0.5 to 1.5 MPa linear dependence of specific productivity on pressure at temperature 20 ... 22 °C is established. At concentration factor  $F = 4$  in the retentate of nanofiltration 17.9% of lactose was observed, and in NF permeate 0.05% with the same concentration of salts of 0.7%. With continuous diafiltration of the UV retentate of the buttermilk, an increase in the membrane's productivity was observed with increasing temperature to 8.2 ... 10 l/m<sup>2</sup> · h. The lowest concentration of lactose (0.01%) in the UV retentate was observed with the use of a sevenfold volume of NF permeate as a solvent. The effect of lactose removal was 99.8%. The results of the studies have shown that the combination of ultrafiltration and continuous diafiltration with NF permeate gives the desired result of the removal of lactose from the buttermilk concentrate. The best parameters of the research process were a pressure of 1.5 MPa and a temperature of 50 °C. The obtained data can become the basis for obtaining mathematical dependencies for an estimation of an effective membrane method. Further research will be needed because of the problem of membrane contamination and their regeneration and disinfection.

**Key words:** buttermilk, lactose, ultrafiltration, nanofiltration, diafiltration purification, buttermilk concentration.

## Дослідження мембранного процесу видалення лактози з концентрату маслянки

С.М. Бондар, А.А. Трубнікова, О.Б. Чабанова

Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса, Україна

Удосконалення технологій виробництва молочних продуктів, у т. ч. морозива, з вторинної сировини за допомогою впровадження інноваційних технологій дає змогу заощадити енергію та ресурси. Маслянка як вторинний матеріальний ресурс має цінні властивості. Вони обумовлені вмістом білків, фосфоліпідів, вітаміну F та ін. Застосування маслянки як основи для безлактозних та низьколактозних продуктів, у т. ч. морозива, стримується вмістом лактози на рівні молока. Серед відомих методів видалення лактози широке застосування мають ферментні, мембранні та їх комбінація. Представлена робота має на меті вивчення основних залежностей мембранної обробки маслянки шляхом ультра- та діалізації нанофільтраційним пермеатом, отриманим відповідною обробкою ультрафільтраційного пермеату маслянки. У експериментах застосовували порожнистолоконні ультрафільтраційні (УФ) мембрани ВПУ-15 та нанофільтраційні (НФ) плоскі мембрани ОПМН-П виробництва «Владипор» (Росія). Обидва типи мембран використовувались у складі лабораторних мембранних установок. У дослідженні застосовувались стандартні методики визначення складових маслянки та її продуктів УФ та НФ. Для кожної мембрани визначали продуктивність за фільтратом та селективність залежно від робочих параметрів нанофільтрації УФ пермеату та діалізації (ДФ). УФ ретен-тат маслянки на порожнистих волокнах при тиску 0,15 МПа та температурі 50 °С отримували при факторі концентрування  $F = 4$ . Встановлена низька селективність мембрани ВПУ-15 за лактозою (4%) та висока за білком – 99,6%. Нанофільтрація УФ пермеату маслянки проводилась у діапазоні тиску 0,5...2,0 МПа. Від 0,5 до 1,5 МПа встановлено лінійну залежність питомої продуктивності від тиску при температурі 20...22 °С при факторі концентрування  $F = 4$  у ретенаті нанофільтрації спостерігалось 17,9% лактози, а у НФ пермеаті 0,05% при однаковій концентрації солей 0,7%. При безперервній діалізації УФ ретен-тату маслянки спостерігалось зростання продуктивності мембран з ростом температури до 8,2...10 л/м<sup>2</sup>·год. Найменша концент-рація лактози (0,01%) у УФ ретенаті спостерігалась при застосуванні семикратного об'єму НФ пермеату як розчинника. Ефект видалення лактози становив 99,8%. Результати досліджень показали, що комбінація ультрафільтрації та безперервної діалізації за допомогою НФ пермеату дає бажаний результат видалення лактози з концентрату маслянки. Найкращими параметрами процесу досліджень були тиск 1,5 МПа та температура 50 °С. Одержані дані можуть стати основою для отримання математичних залежностей для оцінки ефективного мембранного способу. Подальші дослідження будуть необхідні через проблему забруднення мембран та їхню регенерацію і дезінфекцію.

**Ключові слова:** маслянка, лактоза, ультрафільтрація, нанофільтрація, діалізаційне очищення, концентрування маслянки.

## Вступ

Удосконалення технологій виробництва молочних продуктів, у т. ч. морозива, із вторинної сировини разом із розробкою інноваційних технологій і продуктів підвищеної біологічної цінності дає змогу вирішити проблему енерго- та ресурсозбереження. В цьому сенсі розробка науково-обґрунтованих технологій молочно-білкових концентратів з маслянки з низьким вмістом лактози є актуальним і перспективним напрямком у харчовій науці.

Цінні властивості маслянки, зокрема, як джерела білків, фосфоліпідів, вітаміну F тощо, визначають доцільність її використання як основи для багатьох молочних продуктів (Hramcov and Vasili, 2003; Hrek et al., 2011; Vyshemirskij, 2011).

Серед проблем останніх років, що супроводжують споживання молочних продуктів, особливого поширення набуває лактазна недостатність людей. Вона може мати лише спадкове і набуте походження. Симптоми захворювання відомі й пов'язані з незасвоєнням лактози. Коли у травних шляхах людського організму цей дисахарид не гідралізується, надходить у товстий кишківник і стає живильним середовищем бактерій. Вони метаболізують лактозу, що супроводжується газоутворенням. Лактоза та продукти її бактеріального розпаду значно підвищують осмотичний тиск середовища товстої кишки. Результат ефекту – діарея, що виникає внаслідок обводнення порожнини кишківника за рахунок осмотичних явищ (Di Stefano et al., 2005; Xiong et al., 2017). Авторитетні медичні органи, все ж наголошують, що молочні продукти повинні залишатись у раціоні людей з лактазним дефіцитом (Suchy et al., 2010).

Проблема видалення лактози з молочних продуктів залишається актуальною. Вона може вирішуватись через застосування відповідних ферментів та шляхом молекулярно-ситових явищ. Останні реалізуються

через впровадження мембранних технологій концентрування та сепарування.

Для обробки рідких середовищ, зокрема маслянки, мембранні процеси є альтернативою традиційним способам завдяки унікальним особливостям (відносно низькі температури обробки, безперервність, збереження нагивних властивостей, простота апаратурного оснащення, низькі енерговитрати).

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. Сьогодні при виробництві молочної продукції з низьким вмістом лактози застосовують декілька способів. Наприклад, досить поширені технологічні прийоми, коли лактоза розпадається у процесі традиційного виробництва. Це стосується насамперед кисломолочних продуктів. Природний вміст лактози у цьому випадку зменшується внаслідок розвитку кисломолочної мікрофлори. Вживання таких продуктів дозволено для осіб зі слабкими симптомами несприйняття лактози, коли фермент лактаза присутня в організмі, але рівень її активності недостатній для нормального травлення. Кисломолочні бактерії розкладають тільки деяку частку лактози (Potemka et al., 2017).

У деяких випадках рекомендується безпосередньо при споживанні їжі додавання спеціальних препаратів, наприклад, Лактазар (Ipatova, 2012), що полегшують травлення лактози. Однак подібні препарати у багатьох випадках негативно впливають на організм людини внаслідок властивості і сам процес споживання продуктів, сумісний з прийомом медикаментів, стає не дуже приємним.

Найбільш розповсюдженим способом зменшення вмісту лактози у молоці і молочних продуктах є використання ферменту лактази. Лактаза здатна розкладати до 98% лактози. З лактози утворюється глюкоза та галактоза. Вихідний склад молока в основному зберігається. Однак за рахунок глюкози молоко набуває солодкого присмаку. Не всім споживачам таке молоко стає до вподоби. Крім того, невелика (близько

1%) частка лактози залишається у молоці. У хворих із високою чутливістю до лактози подібні низьколактозні продукти викликають негативну реакцію організму. Процес ферментативного гідролізу здебільшого є періодичним, а фермент дорогим (Hramcov, 2009).

Для подібних випадків несприйняття лактози розроблене повністю безлактозне молоко. На ринку безлактозних молочних продуктів домінують такі, що випускають торгові бренди Valio Zero Lactose, Real Goodness, Tine Lactosefri, Latter тощо. В основі технології безлактозного молока є винаходи, захищені патентами, фірми Valio. При застосуванні ферментів їх додають безпосередньо в молоко або в пакет, призначений для фасування молока, або використовують імібілізований варіант лактази. Останній спосіб дозволяє використовувати фермент повторно, але призводить до втрати активності. Подібні способи широко використовує підприємство Organic Valley (США) (Pashkovskaja, 2007). Недоліки ферментативного гідролізу, окрім солодкого смаку молока, пов'язані також із жорстким контролем рН, температури та тривалості процесу. Також необхідно виключити розвиток сторонньої мікрофлори у процесі інкубації лактози.

Останнім часом деякі виробники (Dunker, Rohman, Considini) з метою зменшення вмісту лактози (приблизно до 1...1,6%) до гідролітичного розщеплення застосовують мембранні методи. Це дозволяє значно зменшити солодкість продукту після ферментної обробки.

Визнаним лідером у впровадженні мембранного сепарування лактози з молока є фірма Valio. Унікальна технологія цієї фірми дозволяє випускати молоко із вмістом лактози на рівні 0,01%. Таким чином, подібне безлактозне молоко можуть вживати особи з найвищою чутливістю до лактози. Технологія мембранної фільтрації фірми Valio має за основний ультрафільтраційний процес обробки молока. У цьому випадку з молока видаляється частина лактози за рахунок властивостей мембрани затримувати високомолекулярні компоненти молока та пропускаючи низькомолекулярні сполуки (лактозу, мінеральні речовини тощо). Коли у молоці забезпечується мінімальна за технологією концентрація лактози, у молоко додається фермент лактаза. Оскільки на стадії мембранної обробки за рахунок комбінації мембранних процесів концентрація лактози зменшується, гідроліз не призводить до накопичення високого вмісту глюкози і відповідно – виникнення солодкого присмаку у молоці так, як це буває при виключно ферментній обробці молока. Крім того, безлактозне молоко Valio має на 35% менше вуглеводів, що зменшує калорійність молока приблизно на 20% (Pashkovskaja, 2007). На основі розробленого продукту фірма випускає цілу низку молочних продуктів без лактози.

Мембранні методи видалення лактози з різних продуктів переробки молока (сироватки і маслянки) застосовують науковці з метою збільшення ступеня чистоти кінцевих продуктів, наприклад сухих білково-ліпідних концентратів. Це дозволяє також забезпечити високий ступінь утилізації вторинних продуктів

переробки молока, спростити технологічну схему, зменшити енерго- і ресурсовитрати та негативний вплив на довкілля (Kunizhev and Shuvaev, 2004; Har'ju, 2005). Комбінація сучасних способів обробки ультра-, мікро-, нанофільтрація та зворотний осмос забезпечує збереження властивостей основних молочних компонентів і їхню біологічну цінність (Cuartas-Urbe et al., 2009).

Однак уважніший розгляд проблемних публікацій призводить до висновку, що маслянка, здебільшого розглядається як цінне джерело ліпідних фракцій молока (у т. ч. MFGM). Застосування мембранних способів її обробки в основному спрямоване на ізоляцію білків і ліпідів. Низькомолекулярні компоненти відіграють у цьому випадку роль баласту. На наш погляд, такий підхід дещо обмежує сферу використання маслянки. Зокрема, якщо застосовувати мембранні концентрати маслянки за основу при виробництві низьколактозного морозива, виникає проблема збереження мінеральних складових маслянки. Проблему можна вирішити, якщо комбінувати ультрафільтрацію та діафільтрацію з нанофільтрацією ультрафільтраційного пермеату. Для цього треба встановити основні залежності, що супроводжують видалення лактози з маслянки за допомогою мембран, зокрема порожнистоволоконної конструкції. Встановлені особливості процесу діафільтрації як ключового процесу, що забезпечує практично повне вилучення лактози з маслянки зі збереженням нативних складових молока, дають змогу подальшої розробки замкненого технологічного циклу концентрування та очищення маслянки. Порівняно з мембранно-ферментативними та ферментативними способами видалення лактози виключно мембранний спосіб дозволить організувати процес безперервно, для будь-яких обсягів безлактозної основи із високим ступенем автоматизації і контролю виробництва. Крім того у цьому випадку можна гарантувати чіткі й бажані характеристики продукту.

*Мета та завдання досліджень.* Мета роботи – вивчення основних залежностей мембранної обробки маслянки шляхом ультра- та діафільтрації нанофільтраційним пермеатом, отриманим відповідною обробкою ультрафільтраційного пермеату маслянки.

Мета досягалась через вирішення завдань:

- аналіз стану питання мембранної обробки вторинних молочних продуктів, у т.ч. маслянки;
- вибір мембран та обладнання для лабораторних дослідів;
- створення лабораторного стенду для вивчення процесів, пов'язаних з мембранним очищенням маслянки;
- проведення експериментів для одержання необхідних даних шляхом прямих вимірів хімічних аналізів та розрахунків залежно від характеристик мембран та робочих параметрів процесів;
- аналіз отриманих даних для висновків щодо можливості застосування процесів ультра-, нано- та діафільтраційних процесів для ефективного видалення лактози із маслянки;

– визначення «слабких» ланок процесів та встановлення перспектив подальших досліджень в обраному напрямку.

**Матеріали та методи досліджень**

*Маслянка та її концентрат.* Маслянка, отримана при виробництві вершкового масла способом періодичного збивання на підприємстві «ГМЗ №1» м. Одеси, була об'єктом ультрафільтраційного концентрування та діафільтрації з метою отримання основи для низьколактозних продуктів.

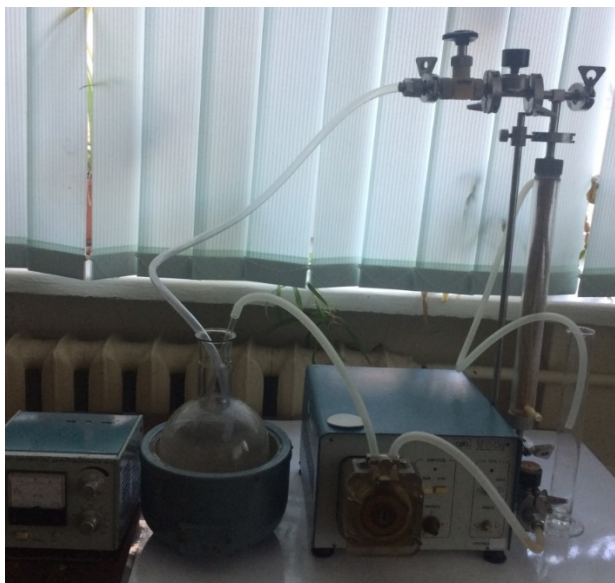
Хімічний склад продуктів ультрафільтраційної обробки маслянки при різних факторах концентрування наведено у таблиці 1. Концентрацію компонентів хімічного складу визначали за загальноприйнятими методиками (Inihov and Brio, 1971; Krus' et al., 2000).

**Таблиця 1**

Хімічний склад продуктів мембранної обробки маслянки

Показник		Маслянка свіжа	УФ ретентат F = 3	УФ пермеат F = 3
Масова частка білку, %		3,2	9,6	0,11
Масова частка жиру, %		0,4	1,2	-
Масова частка лактози, %		4,5	4,54	4,48
Масова частка мінеральних речовин, %		0,7	0,7	0,7

*Ультрафільтраційне концентрування маслянки.* Для обробки маслянки використовували лабораторну мембранну установку для ультрафільтрації УПЛ-0,6 (рис. 1).



**Рис. 1.** Лабораторна мембранна установка для ультрафільтрації УПЛ-0,6

У складі установки є половолоконний модуль AP-0,2 з мембранами ВПУ-15. Молекулярна маса розділення мембран (cut-off) 15 кДа. Виробник мембран – м. Митіщі, Росія. Матеріал мембран – поліамід.

У ході обробки визначали фактор концентрування маслянки за формулою (1):

$$F = \frac{V_o}{V_k}, \tag{1}$$

де,  $V_o, V_k$  – початковий і кінцевий об'єм маслянки при ультрафільтрації відповідно.

Селективність мембран щодо білка та лактози визначали за формулою (2), (%):

$$R = \frac{C_k - C_\phi}{C_k}, \tag{2}$$

де  $C_k, C_\phi$  – концентрація компонентів в концентраті та фільтраті відповідно, %.

Робочий тиск процесу визначали за формулою (3):

$$P = \frac{P_{вх} + P_{вих}}{2}, \tag{3}$$

де  $P_{вх}, P_{вих}$  – тиск на вході і виході з модуля відповідно, МПа.

*Нанофільтрація УФ пермеата маслянки.* В експериментах використовували плоскорамну мембранну установку, оснащену мембранами з поліаміду для нанофільтрації ОПМН-П фірми «Владіпор», Росія.

Умови експлуатації мембран ОПМН-П: максимальна температура – 45 °С; робочий діапазон рН – від 2 до 12.

Робочі характеристики наведені в табл. 2.

**Таблиця 2**

Робочі характеристики мембран типу ОПМН-П

Характеристика мембрани	ОПМН-П
Робочий тиск, МПа	1,6
Мінімальна продуктивність по фільтрату при температурі 25 °С, $dm^3/m^2 \cdot год$	100
Селективність, %	
по 0,2%, $MgSO_4$ , не менше	98,5
по 0,15%, $NaCl$ , не менше	55,0
Стійкість з $Cl$ , $млн^{-1}$ , не менше	1

Вид мембран і установки, що використовували у роботі показано на рис. 2. та 3.



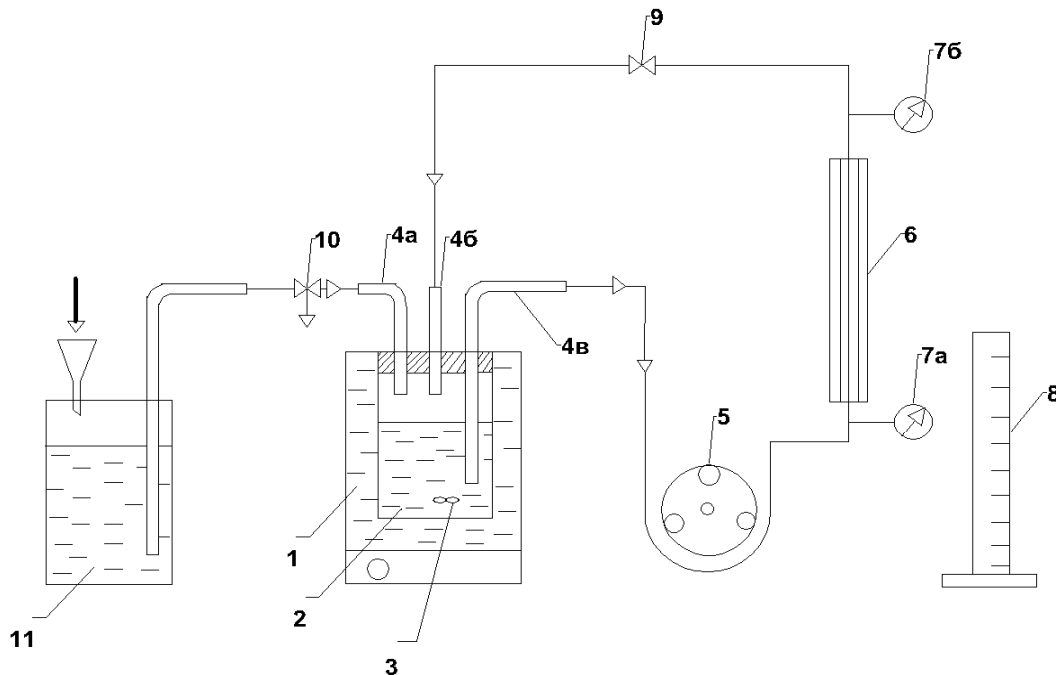
**Рис. 2.** Мембрана марки ОПМН-П («Владіпор», Росія)



Рис. 3. Лабораторная установка ФТ-01

Установка укомплектована шестеренчастим насосом високого тиску. Мембрани мають форму диска. Загальна площа мембран в установці 0,5 м<sup>2</sup>. В ході концентрування визначали продуктивність мембран за допомогою мірного циліндра і секундоміра. В НФ пермеаті визначали лактозу і мінеральні речовини. Отриманий НФ пермеат використовували для діафільтрації УФ ретентату маслянки як буфер.

Діафільтрація УФ ретентату маслянки. Процес проводився в безперервному режимі згідно зі схемою, наведеною на рис. 2.4. У ємність 2 наливали УФ ретентат маслянки. Посудину герметизували гумовим корком, через який проходили три скляні трубки.



- |                                  |   |
|----------------------------------|---|
| <b>1-водний термостат</b>        | <b>6-половолоконний модуль</b>              |
| <b>2-ємність для концентрату</b> | <b>7а,б- манометри</b>                      |
| <b>3-магнітна мішалка</b>        | <b>8- мірний циліндр</b>                    |
| <b>4а,б,в - скляні трубки</b>    | <b>9- кран</b>                              |
| <b>5- перистальтичний насос</b>  | <b>10- триходовий кран</b>                  |
|                                  | <b>11- ємність для нанофільтра (буфера)</b> |

Рис. 4. Схема лабораторної мембранної установки для дослідження процесу діафільтрації концентрата маслянки

Кожна з трубок через силіконовий шланг з'єднувалася зі своїм контуром. Трубка 4А – з контуром подачі НФ пермеату з ємності 11, трубка 4Б – з контуром повернення ретентату в вихідну ємність, трубка 4В – з контуром подачі ретентату в половолоконний мембранний модуль. Вся система для діафільтрації була герметичною і забезпечувала сталість об'єму концентрату, який піддавався очищенню від лактози. Цей ефект досягався тим, що в міру видалення пермеату рівень рідини у вихідній ємності знижувався. Це викликало розрідження в ємності. Відповідно до розрідження з ємності НФ пермеату відбувалася подача буфера. Таким чином, об'єм ретентату весь час залишався постійним. Регулюючи тиск краном 9 і швидкість потоку через модуль, змінювали витрати буфера і пермеату. Продуктивність процесу визнача-

ли за об'ємом пермеату за допомогою мірного циліндра і секундоміра. В ході діафільтрації в пермеаті та ретентаті контролювали вміст лактози. Для вирівнювання концентрації в об'ємі застосовували магнітну мішалку. Температура підтримувалася водним термостатом.

Ефективність видалення лактози розраховували залежно від концентрацій під час очищення за формулою (4) :

$$EB = \frac{C_{ко} - C_{кк}}{C_{ко}} \times 100\% , \quad (4)$$

де  $C_{ко}$ ,  $C_{кк}$  – концентрації лактози на початку і наприкінці процесу відповідно для певного діаоб'єму буфера, %.

Діафільтраційний об'єм буфера складав відношення :

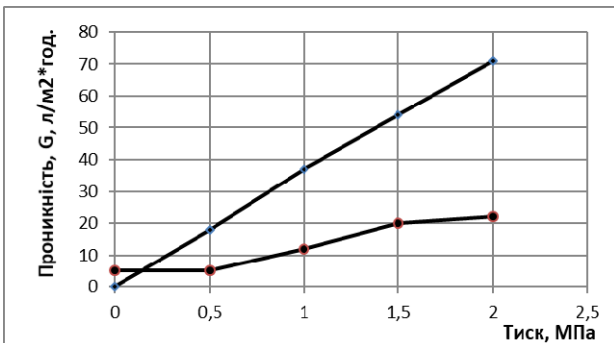
$$DV = \frac{V_{\phi}}{V_k}, \quad (5)$$

де  $V_{\phi}$  – об’єм відібраного фільтрату,  $V_k$  – первинний об’єм концентрату маслянки, взятий для очищення.

**Результати та їх обговорення**

*Ультрафільтраційне концентрування маслянки.* У роботі не ставилося завдання дослідження основних закономірностей процесу ультрафільтрації маслянки, оскільки цей процес є досить вивченим (Atra et al., 2005; Deinychenko et al., 2008; Kruglik, 2009; Konrad et al., 2013; Deinychenko et al., 2017). Однак така обробка була необхідна для отримання ретентату і пермеату. Ретентат є основою для отримання без- або низьколактозної основи для виробництва, наприклад, морозива. Маслянку концентрували при таких технологічних параметрах:  $p = 1,5 \text{ атм}$  (0,15 МПа) і  $t = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$  на половолоконній установці. Отриманий пермеат піддавався подальшій нанофільтрації. Селективність мембран ВПУ-15 щодо лактози, яка розрахована за формулою 2, склала 4%, для білка – 99,6%. Наведені в таблиці 1, дані хімічного складу свідчать про низьку затримуючу здатність нанофільтраційних мембран стосовно до лактози і, особливо, мінеральних речовин.

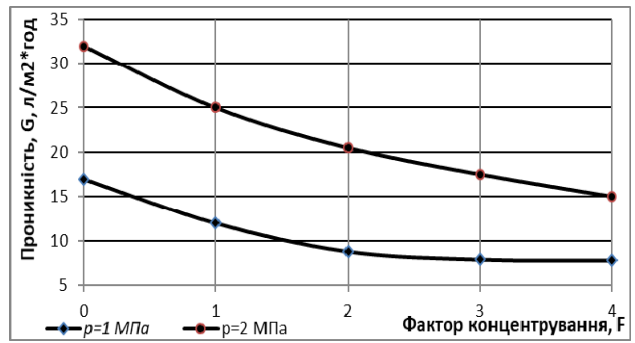
*Нанофільтрація УФ пермеату маслянки.* Експериментальна залежність продуктивності нанофільтраційних мембран від тиску при температурі 20...22 °С і при об’ємній витраті насоса 200 л/год наведена на рис. 5.



**Рис. 5.** Залежність проникності нанофільтраційних мембран марки ОПМН від тиску при обробці УФ пермеату маслянки

Цікаво, що в діапазоні тисків 0,5...1,5 МПа залежність була лінійною. При подальшому збільшенні трансмембранного тиску спостерігалось менш інтенсивне зростання проникності. Тиск понад 2,0 МПа в роботі не використовували через обмежені можливості насоса. Крім того, детальне вивчення процесу нанофільтрації не входило в мету дослідження.

Додатково були отримані залежності проникності мембран від використаних факторів концентрування (рис. 6).



**Рис. 6.** Вплив факторів концентрування і трансмембранного тиску на проникність нанофільтраційних мембран марки ОПМН

Аналіз даних показує, що в діапазоні факторів концентрування 1–4 при тиску 1,0 МПа падіння продуктивності сягало понад 2 рази (з 17 до 8 л), тимчасом як при тиску близько 2,0 МПа падіння склало близько 1,5 рази. Зазначені факти пояснюються комбінованим впливом зростаючого осмотичного потенціалу розчину, концентраційною і гелевою поляризацією мембрани.

Хімічний склад продуктів нанофільтрації порівняно з вихідним УФ пермеатом наведено в таблиці 3.

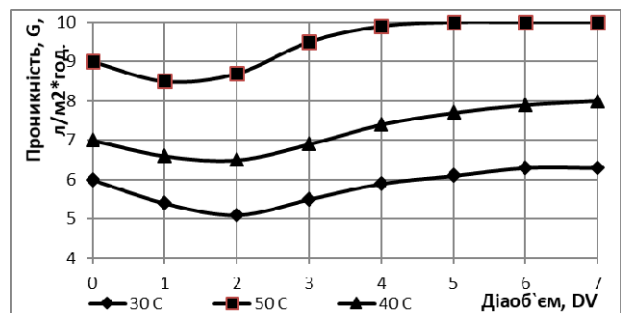
**Таблиця 3**

Зміни концентрації лактози та мінеральних речовин при нанофільтрації УФ пермеата

Показник	УФ пермеат	НФ ретентат F = 4	НФ пермеат
Масова частка лактози, %	4,48	17,9	0,05
Масова частка мінеральних речовин, %	0,70	0,73	0,70

З даних таблиці 3 випливає, що селективність випробуваних мембран щодо лактози була дуже високою (понад 99%). Водночас, селективність щодо мінеральних речовин практично дорівнювала 0%.

*Діафільтрація УФ ретентату маслянки.* При діафільтраційній обробці УФ ретентату маслянки були отримані експериментальні залежності проникності половолоконних мембран при різних діаб’ємах буфера для трьох різних температур обробки (рис. 2.7).



**Рис. 7.** Залежність проникності половолоконних мембран ВПУ-15 від діаб’єма при очищенні концентрату маслянки (p = 0,15 МПа)

Тенденція зміни цього показника була однаковою. Спочатку спостерігалось падіння проникності, а потім збільшення і стабілізацію до кінця процесу. При цьому за температури 50 °С ефект був більш вираженим: різке зростання з 8,2 л/м<sup>2</sup>×год при значенні DV = 1,5 і стабілізація при значенні близько 10 л/м<sup>2</sup>×год починаючи з DV = 3...3,5. Експеримент для температур більших ніж 50 °С не проводився через загрозу денатурації цінних білкових компонентів. Аналіз залежностей показує, що зростання продуктивності при збільшенні температури пояснюється різким зниженням в'язкості, що сприятливо позначається на швидкості потоку в каналі волокон. При цьому знижується вплив концентраційної і гелевої поляризації, які перешкоджають проникненню розчинених частинок через мембрану. Цими ж ефектами можна пояснити сталі значення проникності, коли гелевий шар осаду сформувався і прийняв значення стабільної товщини по всій поверхні мембрани. Зростання продуктивності при діалізації пояснюється, якщо звернути увагу на те, що основна маса низькомолекулярних компонентів видаляється з концентрату при значеннях діаб'єму 0,5...1,5 (рис. 8). Ці речовини в основному

визначають осмотичний потенціал розчину. Його падіння, при однаковому робочому тиску, призводить до зростання продуктивності мембран.

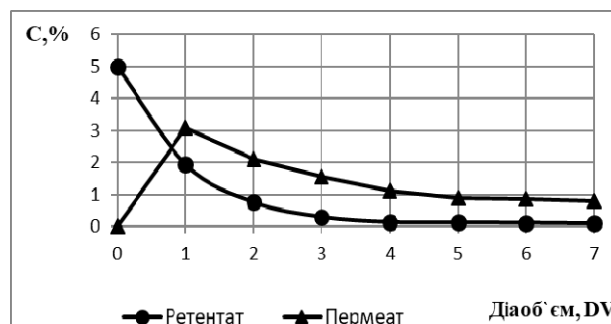


Рис. 8. Залежність концентрації лактози в ретентаті та пермеаті

Зміну концентрацій лактози в ретентаті та пермеаті показано в табличному вигляді разом з розрахованою ефективністю видалення лактози (табл. 4).

Таблиця 4  
Ефективність видалення лактози при діалізації

Показник	Діалізаційний об'єм, DV						
	1	2	3	4	5	6	7
Концентрація лактози в ретентаті, C <sub>к</sub> , %	1,93	0,75	0,29	0,11	0,04	0,02	0,01
Концентрація лактози в пермеаті, C <sub>ф</sub> , %	3,07	2,10	1,57	1,22	0,99	0,83	0,71
ЕВ лактози, близько %	57,00	83,00	94,00	98,00	99,20	99,60	99,80

Розрахунок ефективності видалення лактози показує, що для значення діалізаційного об'єму 3 понад 90% цього небажаного компонента видаляється з ретентату. За своїми характеристиками він стає низьколатозним. Для досягнення дуже низьких концентрацій лактози (менше ніж 0,1%) потрібні витрати буфера еквівалентні більше ніж 4 діалізаційних об'ємів.

Селективність мембран щодо лактози протягом всього процесу лишалася незмінною (R = 0,05).

### Висновки

Мембранна обробка концентрату маслянки методом діалізації була ефективним прийомом для видалення лактози. Якщо як буфер при діалізації застосовувати нанофільтрат УФ пермеату маслянки, можна регулювати вміст лактози в ретентаті залежно від мети. При цьому поволоконні мембрани дозволяють отримувати продукт з незмінним сольовим складом. Тестування нових нанофільтраційних мембран для обробки УФ пермеату показало добрі результати проникності в діапазоні робочих тисків 1,0...2,0 МПа і високу селективність щодо лактози.

Це дозволяє отримати нанофільтрат вільний від лактози. Використання його як буфера показує перспективність методу діалізаційного очищення ретентату маслянки від лактози. Сольовий склад продукту зберігається через те, що поволоконні мембрани практично не затримують солей і в малому ступені лактозу (R = 5%). Продуктивність мембран ВПУ-15 при діалізації досягла 10 л/м<sup>2</sup>×год. Ці та інші отримані дані можуть бути основою для отримання математичних залежностей. Вони необхідні, наприклад, для оцінки ефективності (в т. ч. економічної) запропонованого способу очищення від лактози і порівнянні його з іншими методами. Вивчення проблеми забруднення мембрани в даній роботі не проводилося. Надалі дослідження даного напрямку обробки маслянки триватимуть з урахуванням проблеми регенерації мембран.

### References

Hrek, O.V., Polishchuk, H.Ie., & Onopriichuk, O.O. (2011). Tekhnolohiia produktiv zi znezhynenoho moloła, molochnoi sy-rovatky i maslianky. Kyiv: NU-KhT (in Ukrainian).

- Hramcov, A.G., & Vasilii, C.B. (2003). Promyshlennaja pererabotka vtorichnogo molochnogo syr'ja. Moskva: DeLi print (in Russian).
- Vyshemirskij, F.A. (2011). Pahta: minimum kalorij – maksimum biologicheskoy cennosti. Molochnaja promyshlennost'. 8, 43–45 (in Russian).
- Di Stefano, M., Miceli, E., Mazzocchi, S., Tana, P., Moroni, F., & Corazza, G.R. (2007). Visceral hypersensitivity and intolerance symptoms in lactose malabsorption. *Neurogastroenterology and Motility*. 19(11), 887–895. doi: 10.1111/j.1365-2982.2007.00973.x.
- Xiong, L., Wang, Y., Gong, X., & Chen, M. (2017) Prevalence of lactose intolerance in patients with diarrhea-predominant irritable bowel syndrome: data from a tertiary center in southern China. *Journal of Health, Population and Nutrition*. 36(1), 38 doi: 10.1186/s41043-017-0113-1
- Suchy, F.J., Brannon, P.M., Carpenter, T.O., Fernandez, J.R., Gilsanz, V., Gould, J.B., Hall, K., Hui, S.L., Lupton, J., Mennella, J., Miller, N.J., Osganian, S.K., Sellmeyer, D.E., & Wolf, M.A. (2010). NIH Consensus Development Conference Statement: lactose intolerance and health. *NIH Consensus State Sci Statements*. 27, 1–27.
- Potemskaja, O.I., Kihel, N.F., Danylenko, S.H., & Kopylova, K.V. (2017).  $\beta$ -halaktozydazna aktyvnist bakterii, yak kryterii vidboru shtamiv do skladu bakterialnykh preparativ. *Kharchova nauka ta tekhnolohiia*. 11(3), 35–41. doi: 10.15673/fst.v11i3.604 (in Ukrainian).
- Ipatova, M.G. (2012). Laktaznaja nedostatochnost' u detej rannego vozrasta i osobennosti pitanija pri patologii. *Razbor klinicheskikh sluchaev. Voprosy sovremennoj pediatrii*. 11(1), 119–123 (in Russian).
- Hramcov, A.G. (2009). Issledovanija v oblasti polucheniya bezlaktoznykh molochnykh produktov. *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Molochnaja industrija-2009»*. M.: ANO «Molochnaja promyshlennost'» (in Russian).
- Pashkovskaja, O. (2007). Nizkolaktoznye i bezlaktoznye produkty kompanii Valio. *Pererabotka moloka*. 11, 42 (in Russian).
- Har'ju, M. (2005). Uдалenie laktozy iz moloka. *Molochnaja promyshlennost'*. 4, 52–54 (in Russian).
- Kunizhev, S.M., & Shuvaev, V.A. (2004). *Novye tehnologii v proizvodstve molochnykh produktov*. Moskva: DeLi print (in Russian).
- Cuartas-Uribe, B., Alcaina-Miranda, M.I., Soriano-Costa, E., Mendoza-Roca, J.A., Iborra-Clar, M.I., & Lora-García, J. (2009). A study of the separation of lactose from whey ultrafiltration permeate using nanofiltration. *Desalination*. 241(1–3), 244–255. doi: 10.1016/j.desal.2007.11.086
- Inihov, G.S., & Brio, N.P. (1971). *Metody analiza moloka i molochnykh produktov*. M.: Pishhevaja promyshlennost' (in Russian).
- Krus', G.N., Shalygina, A.M., & Volokitina, Z.V. (2000). *Metody issledovanija moloka i molochnykh produktov*. M.: Kolos (in Russian).
- Kruglik, V.I. (2009). *Metodicheskie principy rascheta processov membrannogo frakcionirovaniya gidrolizatorov molochnykh belkov. Tehnika i tehnologija pishhevyykh proizvodstv*. Kemerovo: KemTIPP. 3, 101–105 (in Russian).
- Atra, R., Vatai, G., Bekassy-Molnar E., & Balint, A. (2005). Investigation of ultra- and nanofiltration for utilization of whey protein and lactose. *Journal of Food Engineering*. 67(3), 325–332. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2004.04.035
- Deinychenko, H., Huzenko, V., Mazniak, Z., Melnyk, O., & Skryl, A. (2017). Intensyfikatsiia protsesu ultrafiltratsiinoho kontsentrivannia skolotyln. *Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnogo universytetu*. 17(1), 96–104 (in Ukrainian).
- Konrad, G., Kleinschmidt, T., & Lorenz, S. (2013). Ultrafiltration of whey buttermilk to obtain a phospholipid concentrate. *International Dairy Journal*. 30(1), 39–44. doi: 10.1016/j.idairyj.2012.11.007
- Deinychenko, H.V., Mazniak, Z.O., & Zolotukhina, I.V. (2008). Ultrafiltratsiini protsesy ta tekhnolohii ratsionalnoi pererobky bilkovo-vuhlevodnoi molochnoi syrovyny. *Kharkiv: Fakt* (in Ukrainian).