
ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 637.247:637.044-021.146.4

DOI: 10.31521/2313-092X/2021-4(112)-7

ЗАСТОСУВАННЯ НАНОФІЛЬТРАЦІЇ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВТОРИННИХ ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБКИ ТВАРИННОЇ СИРОВИНИ

С.М. Бондар, кандидат технічних наук, доцент,
ORCID ID: 0000-0002-7908-2074

А.А. Трубнікова, кандидат технічних наук
ORCID ID: 0000-0001-6971-136X

О.Б. Чабанова, кандидат технічних наук, доцент
ORCID ID: 0000-0002-1455-2987

Т.Є. Шарахматова, кандидат технічних наук, доцент
ORCID ID: 0000-0001-6080-6995

Т.В. Недобійчук, кандидат технічних наук, доцент
ORCID ID: 0000-0002-8030-0198

Одеська національна академія харчових технологій

Проблема переробки вторинних матеріальних ресурсів молочної промисловості, зокрема маслянки, тісно пов'язана з екологічними питаннями.

Нанofільтрація є енергоощадною альтернативою демінералізації методом іонного обміну та електродіаліза. Два типи нанofільтраційних мембран ОПМН фірми «Владіпор» досліджено з метою виявлення основних залежностей фільтрування. Питома продуктивність та селективність тестованих мембран є головними предметами досліджень. Є підстави для висновку щодо широкомасштабного впровадження нанofільтрації при утилізації маслянки.

Ключові слова: пахта, ультрафільтрація, нанofільтрація, лактоза, мембранне концентрування.

Постановка проблеми. Важливою проблемою харчової промисловості до сьогодні залишається ефективна переробка сировини, зокрема молочної. Останніми роками особлива увага приділяється вторинним матеріальним ресурсам та відходам. Серед них велике значення мають молочна сироватка та маслянка [1-5]. Це пов'язано не тільки з економічними показниками, але й з екологічними проблемами. Хімічний склад цих рідин визначає їх як виключно сприятливе середовище для розвитку мікроорганізмів. Цей факт викликає підвищення показників

забрудненості стічних вод підприємств молочної промисловості. Вітчизняне та світове законодавство у галузі охорони навколишнього середовища регулярно підвищує нормативні вимоги при скиданні стічних вод у природні водойми. Такий підхід до проблеми є додатковим стимулом для відповідних підприємств стосовно пошуку та впровадження сучасних технологій утилізації сироватки і маслянки [4-7].

Мембранні технології суттєво допомагають вирішувати цю проблему. Застосування мембранних процесів у різних їх комбінаціях дозволяє високоефективно переробляти

відходи молокопереробки. Це пояснюється низькими енерговитратами та можливістю зберегти цінні біологічні властивості головних компонентів хімічного складу [5-9].

Однак, у цьому випадку постає проблема утилізації вторинних потоків, що утворюються внаслідок мембранних концентрування або очищення. Зазвичай це стосується здебільшого пермеатів. Вони використовуються гірше, ніж концентрати.

Молочна промисловість сьогодні залишається основною серед харчових галузей щодо використання мембранного обладнання та технологій. Насамперед це стосується ультрафільтрації. З урахуванням великих об'ємів переробки молока таким способом стає зрозумілою важливість цієї проблеми також для екології.

Додатково разом з ультрафільтрацією останнім часом активно застосовуються зворотній осмос, мікрофільтрація та нанофільтрація.

Серед процесів утилізації сироватки та маслянки видалення лактози та мінеральних речовин розробляються найбільш інтенсивно. Це пояснюється значною потребою цих видів сировини як основи для безлактозних продуктів. Багато видів морозива, заморожених десертів, сухих напоїв, хлібобулочних виробів, харчових добавок потребують сироватки і маслянки зі зменшеною концентрацією солей. Традиційно демінералізацію проводять за рахунок концентрування та електродіалізу або іонного обміну. У бідь-якому разі витрати на енергію та обладнання є досить значними. Мембранні технології останнім часом стали вигідною альтернативою вказаним процесам. Мембрани з успіхом застосовують не тільки у молочній, але й інших галузях для концентрування та очищення рідин. Вважається, що на перспективу мембранні технології будуть зберігати тенденцію стрімкого зростання використання через низькі енерговитрати, відносну простоту апаратурного оформлення, зручність автоматичного контролю та управління тощо [10-17]. Важливим є також мінімальний вплив на природню цінність складу сировини.

Нанофільтрація (НФ) є унікальним мембранним процесом. Він дозволяє розділити

низькомолекулярні органічні та неорганічні сполуки. Основою НФ є багато, у т.ч., електричних ефектів та ефектів Доннана. Характер НФ процесу значно залежить від властивостей мембран та об'єкта фільтрування [12-17].

Представлена робота є логічним продовженням ранішніх досліджень [8].

Основна увага приділяється застосуванню НФ мембран для обробки УФ пермеату маслянки. Цей продукт отримують ультрафільтрацією сировини при концентруванні. Ультрафільтраційний пермеат сьогодні використовується вкрай неефективно. Об'єми накопичення цієї цінної сировини досить значні. Проблема утилізації вказаної рідини є суттєвою через вагомий ризик скиду забруднених стічних вод складовими пермеату. Навантаження на довкілля в цьому разі – вагомий аргумент при плануванні впровадження технологій переробки молочних бай-продуктів. Нанофільтрація має суттєві переваги перед іншими методами обробки. Окрім вирішення екологічних проблем цей процес може дозволити отримати нові цінні рідини, що найдуть широке застосування при виробництві низки спеціальних молочних продуктів, наприклад без лактози.

У низці публікацій [18-23] раніше було встановлено чітку залежність НФ від способу обробки, параметрів, хімічного складу сировини та властивостей НФ мембран. Наприклад, автори [18] досліджували значний ефект при комбінації НФ і діафільтрації за допомогою НФ мембран рулонного типу DS-5DL (GE-Osmonics). УФ-пермеат сироватки у цьому разі був об'єктом досліджень. Особлива увага приділялася основним залежностям при демінералізації розчину лактози.

У роботі [19] вказано на гідрофільність НФ мембран як важливий чинник процесу.

Автори роботи [20] встановили, що при НФ на мембранній поверхні утворюється гелевий шар і зростає концентрація розчинених речовин, особливо лактози. У роботі вказано, що близько 1% лактози переходить у НФ пермеат.

Видалення мінеральних речовин при обробці різних молочних продуктів досліджували вчені [21]. Вони досягли

27...36% видалення мінеральної складової залежно від ступеня концентрування УФ пермеатів молока та сироватки.

У публікації [22] НФ використовували для отримання багатих на лактозу розчинів. Для мембран типу NFT 50 та HR95PP було отримано кращі результати при значенні тиску 3 МПа, коли з сироватки видалили 80% води.

Мінеральні речовини та молочна кислота слугували об'єктом уваги при НФ у роботі [23]. Дослідники досягли значного ступеня затримання кислоти. Додатково до НФ у цьому випадку застосовували діафільтрацію (ДФ). Такий прийом дозволив видалити з вихідного розчину 30...71% мінеральних солей.

Виробництво багатьох молочних продуктів потребує низького вмісту лактози. Продукти на основі маслянки не є винятком. Особлива увага до харчування людей з непереносимістю лактози є головним чинником інтенсивного пошуку у цьому напрямку через стійкий прогрес цього захворювання [24-26]. При видаленні лактози з маслянки непоганий ефект досягається УФ концентруванням та ДФ. Застосування води у якості розчинника при ДФ – це досить просте рішення. Однак у цьому випадку є втрати збалансованих за вмістом

низькомолекулярних речовин молока. Вдалою заміною води при ДФ є НФ пермеат, що отримується при відповідній обробці УФ пермеату маслянки [8].

Широкомасштабне втілення цього явища у практику переробки вторинних молочних потоків потребує даних, що підтверджують цю можливість. Потрібно знати продуктивність досліджуваних мембран, що визначає економічні показники процесу нанофільтраційної обробки. Важливе значення мають залежності продуктивності від різних факторів мембранної обробки. Ці показники мають вирішальне значення при вирішенні питання про доцільність впровадження мембранних технологій при утилізації вторинних матеріальних ресурсів молочної промисловості.

Ось чому саме дослідження основних залежностей НФ УФ пермеату маслянки є у фокусі даної роботи. Окрім того у доступних джерелах вкрай мало опублікованих даних стосовно вказаної теми.

Матеріали і методи досліджень. Пермеат ультрафільтрації маслянки слугував об'єктом досліджень. Його склад детально описано у роботі [8] та представлено у табл. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад продуктів мембранної обробки маслянки

Показник	Маслянка свіжа	УФ ретентат ФК=3	УФ пермеат ФК=3
Масова частка білку, %	3,2	9,61	0,11
Масова частка жиру, %	0,4	1,21	-
Масова частка лактози, %	4,5	4,54	4,48
Масова частка мінеральних речовин, %	0,7	0,94	0,7

Визначення складових компонентів у даній роботі проводили: масова частка лактози за [27], вміст мінеральних речовин, масові частки жиру та білка за [28]. Отримані показники якості однозначно підтверджують високу цінність маслянки.

Нанофільтраційні мембрани. В експериментах проводили тестування двох марок нанофільтраційних мембран, які виготовляються серійно фірмою «Владипор» (м. Володимир, Росія).

Характеристику мембран подано у табл. 2.

Мембрани мають високу резистентність до окислювачів. Робочий діапазон рН становить 2...12. Мембрани витримують концентрацію активного хлору не менше як 1 мг/л. Це дозволяє проводити високоефективну регенерацію та дезінфекцію. Високоефективно затримуються органічні сполуки з молекулярною масою більш ніж 100 Д.

Таблиця 2

Властивості нанофільтраційних мембран «Владипор»

Тип	Досліджувані умови	Селективність, %	Продуктивність, л/м ² ·год
ОПМН-К	0,15% розчин NaCl, 25 °C, p=15 атм.	30	140
ОПМН-П	0,15% розчин NaCl, 25 °C, p=15 атм.	60...70	1400

Нанофільтраційна обробка.

Експериментальні дослідження процесу НФ УФ пермеату маслянки проводили у

лабораторних умовах на установці, фото якої відображено на рис. 1.

**Рис. 1. Лабораторна установка ФТ-01**

Принципова схема лабораторної установки зображена на рис. 2.

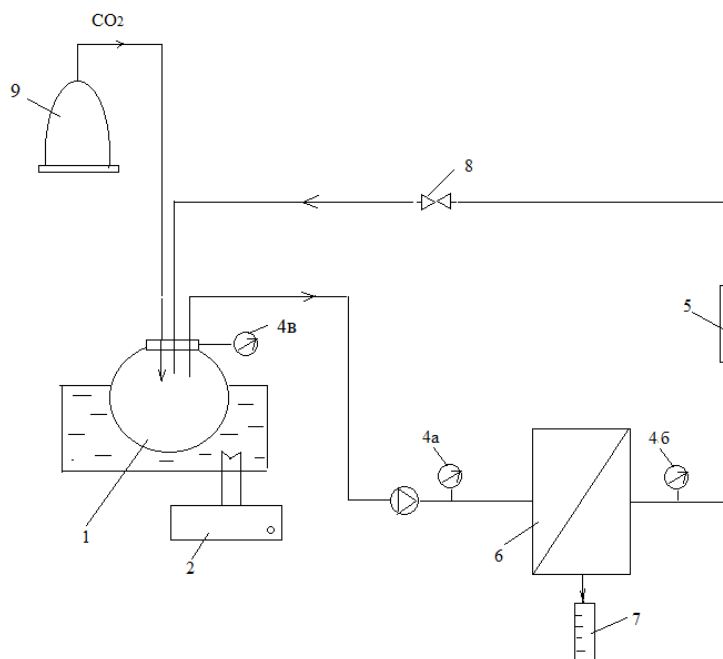


Рис. 2. Принципова схема лабораторної установки: 1 – ємність з манометром; 2 – терморегулятор; 3 – насос; 4 а,б,в – манометри; 5 – лічильник (ротаметр); 6 – мембранний модуль; 7 – мірна ємність; 8 – вентиль; 9 – балон з CO₂

Мембранний модуль установки містить 6 однотипних елементів, один з яких представлено на фото (рис. 3). Конструктивною особливістю представлених елементів є спіральні канали, що дозволяють переводити потік рідини у турбулентний режим при відносно невисоких швидкостях потоку. Це сприяє перемішуванню шару рідини у просторі над мембранною поверхнею. Така конструкція модуля є вкрай важливою у сенсі перешкоджання

утворення осадів на поверхні мембран та усуненню негативного впливу концентраційної поляризації. Мембранні елементи виконані з високоякісної конструкційної пластичної маси. Вони мають високий опір тискові та високим температурам та стійкі до корозії під впливом агресивних реагентів. Вхідний потік рідини направляється по дотичній, що додатково сприяє турбулентному режиму потоку над поверхнею мембрани.



Рис. 3. Мембранний модуль установки

Робота установки проходить у проточному режимі через мембранні елементи та мембранний модуль. Такий режим благотворно впливає на масове перенесення розчинених сполук через поверхню мембрани. В такий спосіб усувається накопичення затриманих мембраною сполук у тонкому шарі рідини над поверхнею мембрани. Ось чому складаються додаткові позитивні умови для підвищення питомої продуктивності мембран. При роботі установки з ємності 1 закритого типу УФ пермеат подається у мембранний модуль 6 за допомогою шестеренчастого насоса високого тиску 3. Додатковий тиск в установці складається за рахунок подачі стислого CO_2 з балону. Такий спосіб обробки рідини дозволяє отримати більше значення рушійної сили процесу, яке гальмується технічними обмеженнями насоса установки та потужністю його двигуна.

НФ пермеат відбирається у мірну ємність 7 для вимірювання продуктивності процесу. Робочий тиск контролюється на вході та виході з мембранного модуля за допомогою манометрів 4 а, б та визначається за формулою:

$$P = \frac{P_1 + P_2}{2}, \text{ МПа} \quad (1)$$

де P_1, P_2 – тиск рідини на вході і виході з модуля відповідно, МПа.

Витрати потоку концентрату контролюються лічильником.

В установці було реалізовано періодичний режим концентрування. У такий спосіб після концентрування УФ пермеат направляється у вихідну ємність 1 через вентиль 8. Швидкість потоку у системі регулювалася шляхом встановлення вентиля у певне положення та перекриття каналу «by-pass», що передбачений у насосі.

Швидкість потоку обчислювали за рівнянням:
виразом:

$$v = \frac{Q}{S}, \text{ м/с}, \quad (2) \quad V_K = V_B - V_{II}, \text{ л} \quad (4)$$

де Q – об'ємна витрата концентрату, м³/с; S – площа перетину міжмембранного каналу, м².
Необхідну температуру фільтрування встановлювали за допомогою терморегулятора, який контролював ступінь нагрівання електричного теплообмінника.

Через певний час визначався фактор концентрування за виразом:

$$\Phi_K = \frac{V_B}{V_K}, \text{ л} \quad (3)$$

де V_B, V_K – об'єми вихідної рідини та концентрату, л.

Об'єм концентрату визначався за

де V_{II} – об'єм пермеату, л.

У пробах НФ пермеату для кожної мембрани визначали селективність:

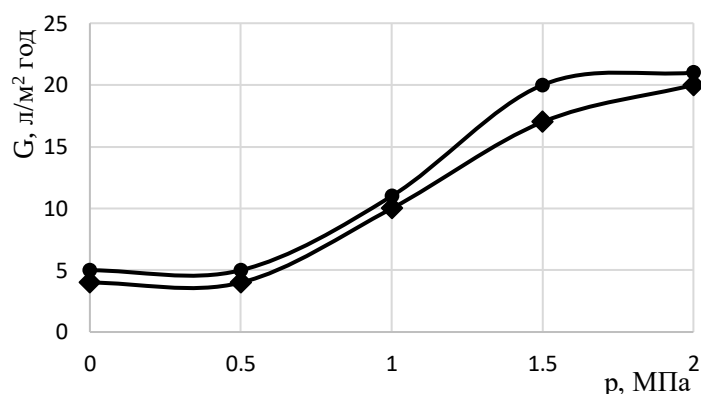
$$\varphi = \left(1 - \frac{C_n}{C_K}\right) \cdot 100\%, \quad (5)$$

де C_n, C_K – концентрації компонентів у пермеаті та концентраті відповідно, г/л.

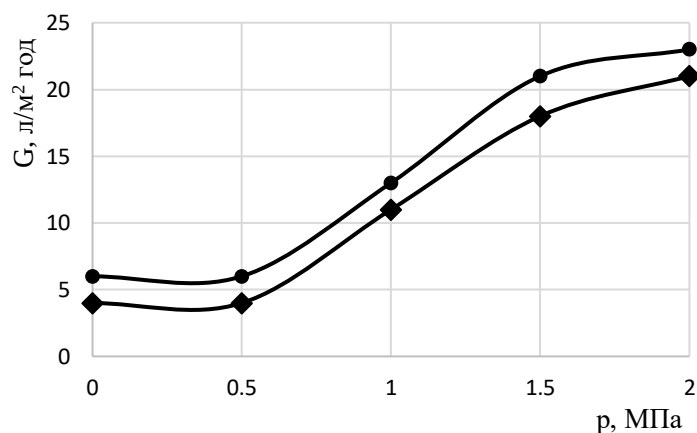
Результати дослідження та їх обговорення

Питома продуктивність мембран

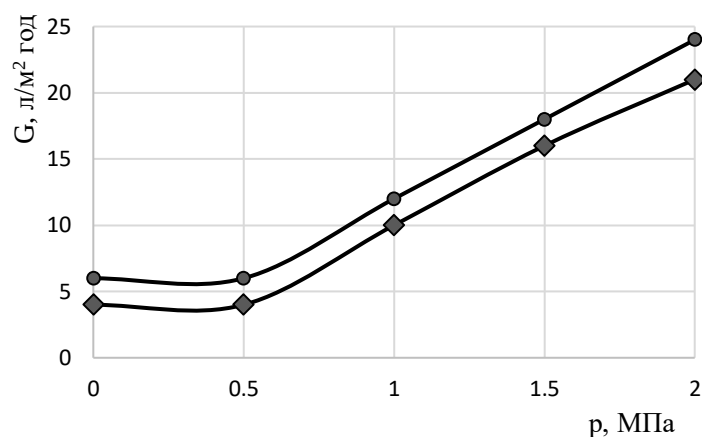
Процес НФ проводили при різних робочих параметрах тиску, температури та швидкості потоку. Отримані результати зображено на рис. 4 а, б, в та рис. 5.



а) $t=20^\circ\text{C}$
– мембрана ОПМН-П
– мембрана ОПМН-К



б) $t=30^\circ\text{C}$
– мембрана ОПМН-П
– мембрана ОПМН-К



в) $t=40^{\circ}\text{C}$
 – мембрана ОПМН-П
 – мембрана ОПМН-К

Рис. 4. Вплив температури на продуктивність мембран

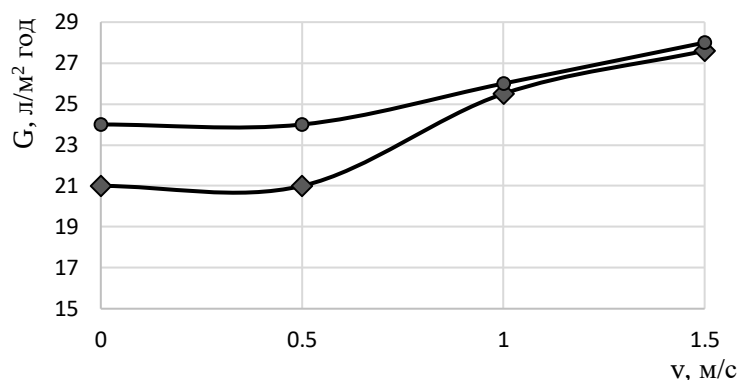


Рис. 5. Вплив швидкості потоку на питому продуктивність мембран

Умови фільтрування: $t=40^{\circ}\text{C}$, $p=2,0\text{ МПа}$
 – мембрана ОПМН-П
 – мембрана ОПМН-К

У всіх випадках було досліджено однакову тенденцію: із зростанням тиску та температури питома продуктивність мембран зростала. Однак при перевищенні значення $1,5\text{ МПа}$ це зростання ставало менш виразним. Це явище можна пояснити утворенням щільного шару на роздільній поверхні мембран. Воно має назву селективної поляризації мембрани. Цей феномен виникає через перевищення певної границі розчинності сполуки. Інтенсивне перенесення розчинника (води) через розподільний шар мембрани призводить до підвищення концентрації розчинених сполук та утворення осаду у вигляді тонкого

рівномірного шару на мембрані. Він містить здебільшого протеїни, що не були виділені з маслянки у процесі УФ і потрапили у УФ пермеат. Певний вплив на продуктивність мембран за нанопермеатом має також явище концентраційної поляризації. Воно виникає поблизу поверхні мембран через накопичення молекул та іонів. Молекули та іони одного заряду починають відштовхуватися, що перешкоджає перенесенню розчинника та розчинених сполук, які проходять через мембрану. В цій зоні проходить інтенсивне перенесення через мембрану молекул розчинника. Саме через це зростає концентрація протеїнів, їх агрегація,

утворюється тонкий шар гелю. У сукупності вказані явища складають додатковий опір та погіршують масове перенесення через мембрану. У кожному з дослідів показники питомої продуктивності мембран марки ОПМН-П були значущі у порівнянні з маркою ОПМН-К.

Зростання продуктивності мембран при нагріванні маслянки можна пояснити зменшенням в'язкості розчину. В цьому випадку складаються кращі умови для циркуляції рідини, зростання швидкості потоку та його турбулізації. Відповідно, у таких умовах шари рідини краще перемішуються. Це послаблює явище концентраційної поляризації та утворення гелевого шару. В такому разі досліджується підвищення потоку розчинника через мембрану.

Цікаво, що підвищення температури маслянки з 30 до 40°C не викликало суттєвого зростання продуктивності мембран для будь-якого тиску. Температури більші за 40°C у дослідях не застосовували через загрозу денатурації залишку білків після УФ обробки. Денатуровані білки, як відомо, утворюють щільний шар на мембрані більш інтенсивно. Пояснити цей феномен можна незворотньою втратою денатурованими протеїнами вищих форм просторової організації молекули. Як результат – втрата розчинності протеїнів та утворення осаду на поверхні мембрани. Тому для подальших експериментів було обрано температуру 40°C як оптимальну з огляду на продуктивність та економію енерговитрат. Окрім того для мембран були температурні обмеження виробника. Для цих умов досліджували явища впливу швидкості потоку на питому продуктивність. Отримано результати (рис. 5), які доводять, що у діапазоні швидкостей 0,5...1,5 м/с зростання продуктивності було помітним. Найбільший результат 15% досягався при швидкості потоку над поверхнею мембрани у 1,5 м/с. Ця тенденція надалі була значно менш виразною. Можливо, що при більш значних швидкостях зростання продуктивності було б суттєвішим. Технічні можливості експериментів не

дозволили дослідити цей ефект у повній мірі. Можливо це викликало б додаткові енерговитрати, що мали б негативний вплив на загальні економічні показники процесу НФ.

Зміна питомої продуктивності мембран з часом обробки є важливим показником, що потрібен для оцінки загальної площі мембранного фільтрування певного об'єму рідини. Без цього показника неможливо визначити економічну доцільність впровадження процесу нанофільтрації у практику переробки вторинної сировини. Зміна питомої продуктивності має вирішальне значення при виборі мембранної установки та методів регенерації.

Необхідні результати представлено на рис. 6.

Динаміка процесу відображається зростанням фактора концентрування маслянки. Цей показник обчислювався відповідно зменшенню об'єму концентрату. Він показує наскільки зменшився об'єм вихідної рідини у порівнянні з початковим значенням. У діапазоні змін ФК 0,5 до 2,0 зменшення питомої продуктивності обох марок мембран було досить суттєвим (на 60% від початкової). Цікаво, що при значеннях ФК більше за 1,0 досліджувані мембрани виявили практично однакову продуктивність. Це можна пояснити суттєвим зростанням осмотичного тиску НФ концентрату та ущільненням структури мембрани по товщині через тривалий вплив високого робочого тиску. Осмотичний тиск, як відомо є функцією концентрації певних розчинних сполук. В даному випадку на цей показник впливають розчинені сполуки, що затримуються нанофільтраційною мембраною (лактоза та частина мінеральних солей). Ущільнена структура мембрани механічно перешкоджає перенесенню молекул крізь мембрану внаслідок зменшення діаметру отворів. В такому стані, вірогідно, головну роль у розділенні компонентів маслянки відіграє вторинна мембрана, що утворилась за рахунок явища гелевої поляризації. Вона має дещо інші від основної мембрани властивості, що вносить певну складність у

процес перенесення молекул та викликає не прогнозовані результати.

Для плоских мембран, що конструктивно розміщуються на опору в установках «plate and frame» типу такий феномен є відомим. При використанні іншого типу мембран,

наприклад, трубчастого або рулонного, вказаний ефект можливо б мав менше значення. Додаткові дослідження в цьому напрямку мають певний інтерес та перспективи.

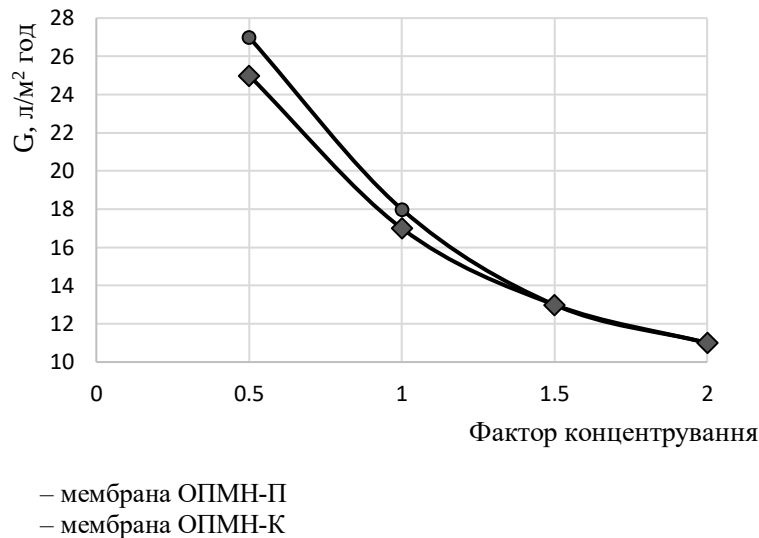


Рис. 6. Вплив фактора концентрування на питому продуктивність мембран

Умови фільтрування: $t=40^{\circ}\text{C}$, $p=2,0$ МПа, $v=1,5$ м/с

Селективність мембран

Певні зміни селективності мембран у процесі НФ обробки маслянки було

встановлено у серії наступних дослідів. Їх результати відображено на рис. 7.

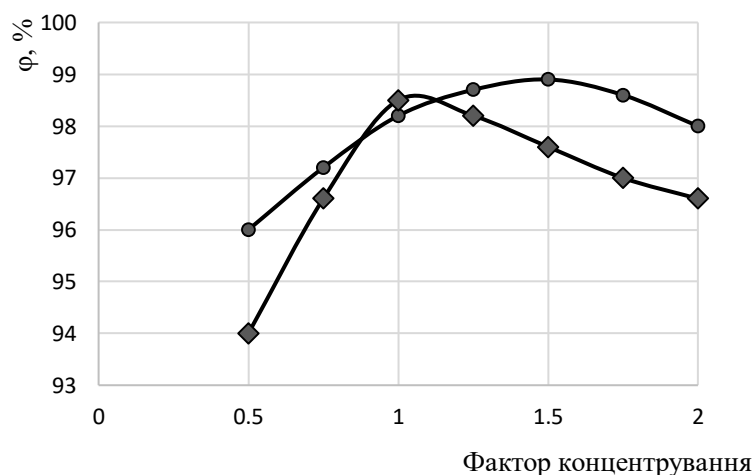


Рис. 7. Вплив фактору концентрування на селективність мембрани

Умови фільтрування: $t=40^{\circ}\text{C}$, $p=2,0$ МПа, $v=1,5$ м/с

– мембрана ОПМН-П
– мембрана ОПМН-К

Для обох марок мембран досліджувались схожі ефекти затримання лактози. Спочатку селективність зростала, а потім зменшувалась. Більш вираженим це явище було для мембрани ОПМН-К. на нашу думку отримані результати можна пояснити з позиції теорії мембранного фільтрування. При зростанні ФК з часом проходить ущільнення структури мембран, що викликає відповідне зменшення діаметру та об'єму пор. Це дає, у певній мірі, збільшення ефекту затримання лактози. Надалі досліджується деяке зростання присутності лактози у НФ пермеаті через відсутність ідеальної структури мембрани щодо діаметру отворів. Це пояснюється певними вадами при формуванні мембранних поверхонь у промислових умовах. Наприклад, неможливо досягти однакових форми та діаметру мембранних пор по всій поверхні полімера, що використовується для виготовлення мембран. Деформація мембрани під тиском також вносить корективи щодо об'єму пор напівпроникної мембрани.

Висновки. НФ процес є ефективним засобом обробки УФ пермеату маслянки для отримання НФ пермеату з мінімальним вмістом лактози.

З метою встановлення основних залежностей НФ обробки цього цінного вторинного продукту переробки молока було досліджено плоскі мембрани марок ОПМН-П та ОПМН-К в режимі концентрування.

Встановлено, що на питому продуктивність мембран істотно впливають

температура, тиск, швидкість потоку та фактор концентрування рідини. Кращі результати для досліджуваного процесу було визначено в умовах лабораторних дослідів: тиск 2,0 МПа, температура 40 °С, швидкість потоку близько 1,5 м/с. досліджувані мембрани виявили незначні розбіжності у основних показниках, що характеризують продуктивність процесу. Враховуючи кращі показники ефекту затримки лактози можна рекомендувати для практичної мети видалення лактози з УФ пермеату маслянки мембрану ОПМН-П ($\phi=99\%$). Продуктивність цієї мембрани складає 11...28 л/м²·год. у залежності від фактору концентрування.

Подальші дослідження у цьому напрямку будуть проводитися з використанням промислових рулонних елементів для НФ та порівняльній характеристиці щодо різних виробників мембран та мембранних елементів.

В роботі не досліджувалась також важлива проблема регенерації мембран. Вибір способу регенерації та встановлення основних параметрів цього процесу є окремою важливою ланкою досліджень у мембранних технологіях. Широкомасштабне впровадження НФ, безумовно, потребує оцінки цього важливого фактору, який істотно впливає на економічну ефективність процесу. Наприклад, це впливає на час експлуатації мембран, тривалість технологічного циклу роботи тощо.

Список використаних джерел:

1. Вышемирский, Ф. А., & Ожгихина, Н. Н. (2011). Пахта: минимум калорий-максимум биологической ценности. *Молочная промышленность*, (9), 54-56.
2. Vanderghem, C., Bodson, P., Danthine, S., Paquot, M., Deroanne, C., & Blecker, C. (2010). Milk fat globule membrane and buttermilks: from composition to valorization. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 14(3), 485-500.
3. Conway, V., Gauthier, S. F., & Pouliot, Y. (2013). Antioxidant activities of buttermilk proteins, whey proteins, and their enzymatic hydrolysates. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(2), 364-372.
4. Радкевич, Л. А. (2009). Технологічні інновації у харчовій промисловості та проблеми їх впровадження. *Економіка харчової промисловості*, (2), 5-10.
5. Кравченко, Э. Ф. (2010). Об эффективной переработке вторичного молочного сырья. *Молочная промышленность*, (12), 66-66.
6. Прошутинская, Ю. С. (2019). Технология продуктов из обезжиренного молока, пахты и молочной сыворотки. *Молодежь и наука*, (3), 83-83.
7. Юдіна, Т. І., & Назаренко, І. А. (2017). Показники якості молочно-рослинних фаршів на основі концентрату зі сколотин. *Обладнання та технології харчових виробництв*, (34), 21-26.

8. Бондар, С. М., Трубнікова, А. А., & Чабанова, О. Б. (2018). Дослідження мембранного процесу видалення лактози з концентрату маслянки. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені СЗ Гжицького. Серія: Харчові технології*, (20, № 85), 62-69. doi: 10.15421/nvvet8512
9. Трубнікова, А. А., Чабанова, О. Б., Бондар, С. М., & Шарахматова, Т. Є. (2019). Одержання сухого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки. *Вісник Національного технічного університету ХПІ. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*, (1), 86-99.
10. Исламов, М. Н., & Омаров, М. М. (2015). Перспективные направления использования мембранных технологий в пищевой промышленности. *Пищевая промышленность*, (10). С. 16-18.
11. Смыков, И. Т. (2007). Нанотехнологии в производстве молочных продуктов. *Переработка молока*, №12. С. 24-27.
12. Van der Horst, H. C., Timmer, J. M. K., Robbertsen, T., & Leenders, J. (1995). Use of nanofiltration for concentration and demineralization in the dairy industry: Model for mass transport. *Journal of membrane science*, 104(3), 205-218. doi.org/10.1016/0376-7388(95)00041-A
13. Mohammad, A. W., & Takriff, M. S. (2003). Predicting flux and rejection of multicomponent salts mixture in nanofiltration membranes. *Desalination*, 157(1-3), 105-111. doi.org/10.1016/S0011-9164(03)00389-8
14. Fane, A. G. (1987). *Synthetic Membranes: Science, Engineering and Applications*: by PM Bungay, HK Lonsdale and MN de Pinho (Eds.), Kluwer Academic Publishers, 101 Philip Drive, Norwell, MA, USA, 1986, 733 pp.
15. S. Szoke, S., Patzay, G., & Weiser, L. (2003). Characteristics of thin-film nanofiltration membranes at various pH-values. *Desalination*, 151(2), 123-129. doi.org/10.1016/S0011-9164(02)00990-6
16. Gilron, J., Gara, N., & Kedem, O. (2001). Experimental analysis of negative salt rejection in nanofiltration membranes. *Journal of Membrane science*, 185(2), 223-236. doi.org/10.1016/S0376-7388(00)00639-6
17. Cao, J., Zhang, W., Wu, S., Liu, C., Li, Y., Li, H., & Zhang, L. (2015). Effects of nanofiltration and evaporation on the physiochemical properties of milk protein during processing of milk protein concentrate. *Journal of dairy science*, 98(1), 100-105. doi.org/10.3168/jds.2014-8619
18. Cuartas-Urbe, 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.org/10.1016/j.desal.2007.11.086
19. Cuartas-Urbe, B., Alcaina-Miranda, M. I., Soriano-Costa, E., & Bes-Pia, A. (2007). Comparison of the behavior of two nanofiltration membranes for sweet whey demineralization. *Journal of dairy science*, 90(3), 1094-1101. doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(07)71596-5
20. Timmer, J. M. K. (2001). *Properties of nanofiltration membranes: model development and industrial application*. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven. DOI: 10.6100/IR545659
21. Roginski H., Fuqua J.W. and Fox P.F.. *Encyclopedia of dairy sciences*. (2003) Academic Press. London.
22. Suárez, E., Lobo, A., Alvarez-Blanco, S., Riera, F. A., & Álvarez, R. (2006). Utilization of nanofiltration membranes for whey and milk ultrafiltration permeate demineralization. *Desalination*, 199(1-3), 345-347. doi:10.1016/j.desal.2006.03.081
23. Atrá, 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.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.04.035
24. Di Stefano, M., Miceli, E., Mazzocchi, S., Tana, P., Moroni, F., & Corazza, G. R. (2007). Visceral hypersensitivity and intolerance symptoms in lactose malabsorption. *Neurogastroenterology & Motility*, 19(11), 887-895. DOI:10.1111/j.1365-2982.2007.00973.x.
25. Xiong L. et. al. (2017). Prevalence of lactose intolerance in patients with diarrhea-predominant irritable bowel syndrome: data from a tertiary center in southern China. *J Health Popul Nutr*. Nov 21. 36(1):38.
26. Suchy, F. J., Brannon, P. M., Carpenter, T. O., Fernandez, J. R., Gilsanz, V., Gould, J. B., ... & Wolf, M. A. (2010). NIH consensus development conference statement: Lactose intolerance and health. *NIH consensus and state-of-the-science statements*, 27(2), 1-27.
27. Стандарт, Ф. Р. Н. (2009). ДІН 10344-82. Молоко и молочные продукты. Метод определения галактозы.–Введ. 01.01. 2000. М.: Стандартинформ.
28. Крусъ, Г. Н., Шалыгина, А. М., & Волокитина, З. В. (2000). Методы исследования молока и молочных продуктов. М.: Колос, 368.

С. Н. Бондарь, А. А. Трубнікова, О. Б. Чабанова, Т. Е. Шарахматова,
Т. В. Недобийчук. **Применение нанофильтрации для регулирования свойств вторичных продуктов переработки животного сырья**

Данная статья фокусирует внимание на исследовании мембранного процесса концентрирования ультрафильтрата пахты с помощью нанофильтрационных мембран. Два типа нанофильтрационных мембран ОПМН фирмы «Владипор» исследуются с целью выявления основных зависимостей фильтрации. Для каждого типа применяется давление в диапазоне 0,5 до 2,0 МПа и температура от 20 до 40 °С. Результаты указывают на то, что оба типа мембран эффективно задерживают лактозу при давлении 2,0 МПа, температуре 40 °С и факторе концентрирования около 2. Варьирование скорости потока над мембраной от 0,5 м/с до 1,5 м/с позволяет увеличить удельную

производительность на 15% от первоначальной. Установлено влияние эффектов концентрационной поляризации на удельную производительность нанофильтрационных мембран. Определено ограничение фактора концентрирования из-за роста осмотического давления раствора. Сделан вывод о возможности широкомасштабного внедрения нанофильтрации вторичных материальных ресурсов переработки молока при исследовании процессов регенерации мембран.

Ключевые слова: пахта, ультрафильтрация, нанофильтрация, лактоза, мембранное концентрирование.

S. Bondar, A. Trubnikova, O. Chabanova, T. Sharachmatova, T. Nedobiichuk. Application of nanofiltration for regulation of properties of secondary products of processing of animal raw materials

This article focuses on the study of the membrane concentration process using buttermilk ultrafiltration nanofiltration membranes. Two types of Vladipor OPMN nanofiltration membranes are being investigated in order to identify the main filtration dependencies. For each type, a pressure in the range of 0.5 to 2.0 MPa and a temperature of 20 to 40 ° C are applied. The results indicate that both types of membranes effectively retain lactose at a pressure of 2.0 MPa, a temperature of 40 ° C and a concentration factor. about 2. Varying the flow velocity above the membrane from 0.5 m / s to 1.5 m / s allows obtaining an increase in specific productivity by 15% from the initial one. The influence of the effects of concentration polarization on the specific productivity of nanofiltration membranes is established. The limitation of the concentration factor due to the increase in the osmotic pressure of the solution is determined. The conclusion is made about the possibility of large-scale introduction of nanofiltration of secondary material resources of milk processing in the study of membrane regeneration processes.

Key words: buttermilk, ultrafiltration, nanofiltration, lactose, membrane concentration.