

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРЕСИВНОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

DOI : 10.33274/2079-4827-2022-45-2-78-87

УДК 628.161

Дейниченко Г. В., д-р техн. наук, професор¹
Гузенко В. В., канд. техн. наук, доцент¹
Серебряніков Ю. О., магістрант¹
Омельченко О. В., канд. техн. наук, доцент²
Буньков В. В., здобувач ОС бакалавра²

¹ Державний біотехнологічний університет (м. Харків, Україна), e-mail: deinychenkogv@ukr.net.

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

ХАРАКТЕРИСТИКА СУЧАСНИХ ТИПІВ МЕБРАННИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ХАРЧОВИХ РІДИН

UDC 628.161

*Deynichenko G. V., Grand PhD of Engineering
Science, Professor¹*
*Guzenko V. V., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor¹*
Serebryanikov Yu. O., magistant¹
*Omelchenko O. V., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor²*
Bunkov V. V., A graduate of a bachelor's degree²

¹ State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine, e-mail: deinychenkogv@ukr.net.

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

CHARACTERISTICS OF MODERN TYPES OF MEMBRANE ELEMENTS USED FOR PROCESSING FOOD LIQUIDS

Мета. Мета статті полягає у виявленні нових типів мембран та мембранних елементів для удосконалення мембранного устаткування молочної промисловості.

Методи. В статті застосовані загальноприйняті теоретичного та комбіновані методи інформаційного аналізу із використанням сучасних комп'ютерних програм. На базі експериментальних досліджень та власних розробок методами порівняльного та системного аналізу надано характеристику мембран. Для дослідження нових видів мембран та особливостей їх структури проаналізовано інформаційні джерела за обраною тематикою: монографії, статті, енциклопедії, патенти, дисертації.

Результати. Представлені результати аналітичних досліджень з вибору мембран та мембранних елементів для обробки харчових рідин, що широко використовуються в різних галузях харчової та переробної промисловості. Представлено класифікацію сучасних типів мембранних елементів, що використовуються для обробки харчових рідин в залежності від потреб підприємств харчової та переробної промисловості. Надано технологічні характеристики неорганічних та органічних напівпроникних мембран, що мають широке використання на підприємствах харчової та переробної промисловості. Наведено приклади інноваційних розробок напівпроникних мембран для удосконалення процесних аспектів переробки харчових

Надійшла до редакції 18.10.2022

© Г. В. Дейниченко, В. В. Гузенко,
Ю. О. Серебряніков, О. В. Омельченко,
В. В. Буньков, 2022

рідин тваринного та рослинного походження та підвищення продуктивності мембранного обладнання. Розроблено класифікацію сучасних напрямів удосконалення різних типів напівпроникних мембран згідно останніх світових досліджень та інноваційних розробок. Виявлено нові методики, щодо удосконалення розробки нових напівпроникних мембран згідно світових вимог та європейських стандартів. Отримані результати можуть бути використані в подальшому формуванні теоретичних та експериментальних досліджень під час розробки нового устаткування для проведення мембранного розділення вторинної молочної сировини та екстрактів рослинної сировини на підприємствах харчової промисловості.

Ключові слова: мембрана, процес, елемент, обробка, структура, рідина, харчування, використання.

Постановка проблеми. В різних країнах світу мембранні технології розділення рідинних сумішей знаходять широке використання. Застосування напівпроникних мембран відкриває великі можливості у переробці харчових рідин на молекулярному рівні [1]. Збезводнювання молочної сировини, фруктових та овочевих соків, сиропів, екстрактів, білків, різноманітних есенцій, пива та інших харчових продуктів може здійснюватись ультрафільтрацією набагато дешевше, ніж, наприклад, випарюванням або виморожуванням, і без втрати лабільних компонентів та погіршення смаку, що часто супроводжує концентрування випарюванням [2].

Не дивлячись на безумовну перспективність та переваги мембранної технології порівняно з іншими процесами концентрування, впровадження її на підприємствах переробки молочної сировини, в теперішній час відбувається низькими темпами. Це пояснюється рядом причин, які пов'язані із недостатнім асортиментом і якістю промислових мембран, що випускаються [3]. При цьому одним з основних чинників, який гальмує впровадження мембранної технології в харчову промисловість є недосконалість технології формування мембран, її складність та висока вартість. Тому нагальним завданням виступає огляд нових розробок та технологій сучасного виробництва напівпроникних мембран, що можуть бути застосовані для переробки знежиреної молочної сировини [4].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Одна з причин інтенсивного розвитку мембранної технології в усьому світі — відносно низькі енергетичні витрати на процеси розділення. Так, при опрісненні води методом ультрафільтрації витрати енергії складають 13 МДж/м³, тоді як методом виморожування — 28 МДж/м³, а методом випарювання — 230 МДж/м³ [5, 6]

Головним елементом всіх мембранних установок є напівпроникна мембрана. Тому основні особливості мембранних процесів, режими їх проведення визначаються характеристиками та властивостями напівпроникних мембран, які використовуються [6, 7].

Процеси ультрафільтрації виконують на мембранах із середнім діаметром пор від 1 до 10 нм, які називають ультрафільтраційними мембранами. В процесах ультрафільтрації розділяють розчини, які містять великі молекули біополімерів, в тому числі молекули білків [8, 9].

Проте для молочної промисловості, стримувальним фактором є обмеженість, а в деяких випадках відсутність наукових досліджень сучасних типів мембран, процесів УФО-обробки біологічних рідин, що спричиняє необхідність надання теоретичних та практичних рекомендацій щодо їх промислового застосування [10, 11].

Мета статті полягає у виявленні нових типів мембран та мембранних елементів для удосконалення мембранного устаткування молочної промисловості.

Щоб досягти зазначеної мети необхідно вирішити такі завдання:

- представити сучасну класифікацію мембран, що використовуються в молочної промисловості згідно світової практики;
- надати характеристику та класифікацію нових прогресивних видів мембранних елементів на основі різних мембранних елементів;
- на підставі результатів дослідження визначити напрямки застосування мембранних елементів з метою удосконалення мембранного обладнання для переробки молочної сировини.

Виклад основного матеріалу дослідження. Мембрани, що використовуються у різних мембранних процесах, класифікуються за різними ознаками. Найбільш простий є класифікація всіх мембран на природні (біологічні) та синтетичні. Природними є мембрани живих організмів, ліпосоми та везикули. У промислових баромембранних процесах використовують синтетичні мембрани, класифікаційна схема яких наведена на рис. 1 [12].

Для ультрафільтрації використовуються виключно пористі мембрани, які здійснюють поділ різних за розміром молекул і частинок. Селективність таких мембран в основному визначається співвідношенням розміру пор і розміру частинок, що розділяються, а матеріал мембрани незначно впливає на розділення [13].

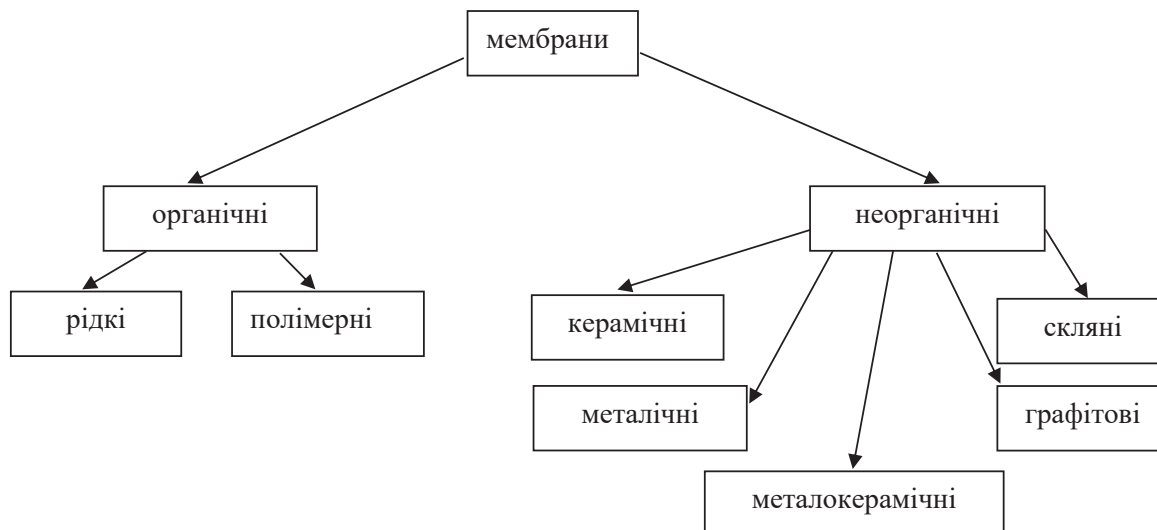


Рисунок 1 — Класифікація мембран, що використовуються в промисловості в залежності від виду матеріалу (складено авторами на основі [12])

Інший спосіб класифікації мембран — за морфологією — дозволяє розділити тверді синтетичні мембрани на пористі та непористі, симетричні та асиметричні, композиційні та однорідні за матеріалом — за структурою, а також на плоскі, трубчасті та поволоконні (рис. 2).

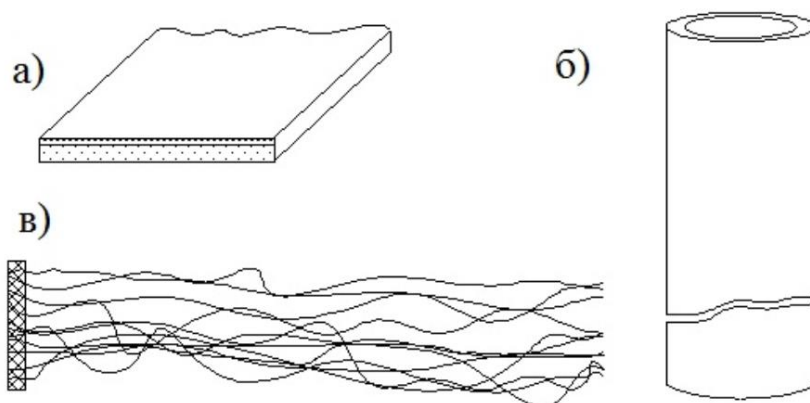


Рисунок 2 — Мембрани різних форм: а) плоскі, б) трубчасті, в) пучок порожнистих волокон (складено авторами на основі [12])

Під асиметричними розуміються мембрани, які з двох чи більше структурно неоднорідних шарів одного й того ж матеріалу, а під композиційними — мембрани, які з хімічно неоднорідних матеріалів [14]. У цих випадках крупнопористий шар більшої товщини називають підкладкою, а дрібно- і непористий шар — селективним, тому що він забезпечує розділові властивості мембрани.

В даний час розрізняють УФ-мембрани трьох поколінь — першого, другого та третього. Ультрафільтраційні мембрани першого покоління виготовляють із полімерних матеріалів на основі ацетатцелюлози. Вони складаються з мікропористого шару, який ви-

конує функцію поділу оброблюваної рідини, і макропористої підкладки, яка є несучою основою самої мембрани [15].

До мембран першого покоління належать напівпроникні УФ-мембрани типу УАМ і УПМ виробництва ВНДІ синтетичних смол, а також мембрани «Альпопор», розроблені НДІ полімерних матеріалів НВО «Пластмаси» [16]. Аналогічні розробки мембран відомі у країнах Західної Європи [17].

Недоліками всіх мембран першого покоління є низькі механічна міцність та хімічна стійкість, можливе мікробіальне розщеплення мембран, низька верхня межа температур (+30 °C), зниження пропускної спроможності у міру експлуатації, що зумовило необхідність подальшого вдосконалення мембранної техніки.

Розробки щодо вдосконалення структури та властивостей УФ-мембран першого покоління продовжуються і зараз. Так, у роботі [18] розроблено полімерні пористі мембрани для поділу білково-вуглеводної молочної сировини. Автором вперше запропоновано нову формую суміш вторинних ацетатів целюлози з ацетоном і етиловим спиртом для виготовлення полімерних пористих мембран, при цьому етиловий спирт виступав у ролі пороутворювача.

Розроблено УФ-полімерні плівкові мембрани на основі вторинного ацетату целюлози, наповнені активованим вугіллям [19]. Вивчено характеристики міцності мембран, визначено максимальне навантаження, при якому руйнується зразок, розрахована міцність при розриві і відносному подовженні. Досліджено процес УФ молочної сировини, показано переваги нових мембран порівняно з традиційними.

Аналогічні розробки відомі за кордоном. Так, R. Barbor із співавторами створені модифіковані ацетилцелюлозні мембрани для поділу емульсій типу «масло у воді» [20]. Авторами досліджено поділ емульсії з використанням двох мембран із різною гідрофобністю.

У харчових виробництвах найбільш поширені виявили полімерні мембрани другого покоління. Вони мають ряд переваг — достатню механічну міцність, високу хімічну стійкість, порівнянний з прогнозованим розміром пор. Фільтруюча перегородка апарату, виконана з полімерних мембран, може мати будь-яку форму — у вигляді плоскої плівки або стрічки, циліндричної плівки на пористій циліндричній основі, у вигляді порожнистих порожнистих волокон.

Сьогодні використовуються полісульфонамідні мембрани, а також асиметричні трекові УФ-мембрани з поліетилентерефталату та полікарбонату з ефективним діаметром пор у селективному шарі 15...20 нм. Отримані трекові мембрани мають більш високу (у десятки разів) продуктивність у процесах УФ-поділу високомолекулярних речовин, ніж трекові мембрани звичайного типу [21].

В інституті фізико-органічної хімії НАН Республіки Білорусь розроблено помірно гідрофільні мембрани другого покоління торгової марки МІФІЛ — типу ПА — на основі ароматичного поліаміду та типу ПС — на основі ароматичного полісульфону. Мембрани призначені для УФ харчових продуктів, поділу розчинів ВМС та біологічно активних речовин. Мембрани рекомендуються для використання у біотехнології, харчовій, фармацевтичній та інших галузях промисловості [22].

Фізико-хімічні характеристики деяких УФ-мембран другого покоління виробництва промислово розвинених країн світу наведено у табл. 1.

Таблиця 1 — Характеристики деяких видів неорганічних ультрафільтраційних мембран (складено авторами на основі [22])

Найменування показника	Фірма-виготівник (країна)		
	«Амікон» (США)	«Мілліпор» (США)	«Дайцел» (Японія)
Марка мембрани	UM, DM, PM, XM	PSAC, PTGC, PSED, PTHK, PSVP	DUY
Матеріал мембрани	поліелектронний комплекс		сополімери акрилонітрила

Найменування показника	Фірма-виготівник (країна)		
	«Амікон» (США)	«Мілліпор» (США)	«Дайцел» (Японія)
Робочий тиск, МПа	0,07...0,38	0,18	0,7
Проникність, м ³ / (м ² ·ч)	12...3000	60...900	-
Молекулярна маса речовин, що затримуються	594...960000	10000...3000000	1000...50000
Селективність, %	90...98	100	100

З даних таблиці 1 видно, що сучасні УФ-мембрани мають широкий діапазон проникності, затримують речовини з молекулярною масою від кількох сотень до трьох мільйонів і мають селективність, що наближається до 100%. Фірмою DDS (Данія) розроблено листові полімерні мембрани на основі ацетату целюлози (типу CA, UF), полісульфону (типу GR, UF), регенованої целюлози (RC 70 PP), які рекомендовані для використання у біотехнології та харчовій промисловості.

Японська фірма «Tatabanya Banyak Vallalat» розробила капілярні мембрани на основі полісульфону марок PSF та PSA. Мембрани відрізняються компактністю, розділяють рідини будь-якої кислотності, мають широкий діапазон (5...80 °C) робочих температур.

У Великобританії отримані композитні мембрани на основі поліамідів 66, 69, 610 і 612 шляхом кристалізації та морфології. Мембрани відрізняються підвищеною продуктивністю та селективністю. Німецькими вченими розроблено фільтруючу мембрану, що має субмікропористу структуру [23]. Мембрана містить пористий шар, що має пори різного розміру. Для виготовлення мембрани використовують пористий матеріал, оброблений дисперсією, що містить частинки рідини, після затвердіння якої вони звільняються, утворюючи мікропори. Мембрана має високу механічну міцність та використовується для процесу УФ.

Ще одним різновидом із використанням УФ-мембран другого покоління є динамічні мембрани. Динамічними називаються композиційні мембрани, селективний шар яких утворений частинками, що містяться в рідині і формують шар осаду на пористій підкладці. Власне розподіл суміші відбувається на цьому шарі, чиста рідина фільтрується через нього, а частинки дисперсної фази затримуються на ньому [24].

Шар знаходиться в динамічній рівновазі з розчином і мембраною, тому постійна присутність мембрановмісних частинок рідини — обов'язкова умова існування динамічної мембрани. Різні колоїдні розчини харчових виробництв, наприклад продукти бродіння, можуть утворювати динамічні мембрани. В інших випадках до вихідного розчину необхідно додавати спеціальні матеріали — крохмаль, бетоніти, полівінілпіронідол та солі гідроксиду деяких металів. Різновидом динамічних мембран є рідинні мембрани. Найбільш сучасні це УФ-мембрани третього покоління, що одержують із металовмісних сполук — оксидів алюмінію, титану, магнію, а також їх комбінацій. Пористі металовмісні мембрани отримують спіканням металевих порошків (сталь, титан і титанові сплави), а також вилуговування будь-якої частини сплаву. На такі пористі підкладки часто проводять напилення Ni, Zn, Cu, Co та інших металів на формування селективних шарів [25].

До металів третього покоління відносяться також металокерамічні мембрани, які є плоскими або трубчастими елементами, що складаються з пористої металевої підкладки (нержавіюча сталь, титан, різні сплави) і селективного керамічного шару (SiO₂, TiO₂, Al₂O₃). Керамічний шар наноситься на готові листи металевої підкладки, потім пресується і обпалюється в печах при температурі 1000 °C [26].

Вченими доведено, що продуктивність мембран може бути підвищена за рахунок того, що на поверхню анодного оксиду алюмінію з боку бар'єрного шару наноситься додаткове покриття з вентильного матеріалу, що призводить до рівномірного розкриття пор в бар'єрному шарі. Підвищення надійності та довговічності мембран може бути досягнуто

за рахунок використання модифікованих мембран, які отримують шляхом використання асиметричних целюлозних структур з гідроксильними групами полісилоксанів з галогенангідридними, сульфанілгалогенідними або фосфорилгалогенідними групами [27].

Серйозні системні дослідження зі створення сучасних УФ-мембран третього покоління проводяться в даний час в Китаї [28]. Існує метод модифікації полівініліденфторидних мембран шляхом опромінення обробленою плазмою, суміщенням з металовмісними компонентами та проведенням хімічної обробки. Мембрани призначені для використання в різних галузях, зокрема харчової промисловості. Розроблено нові первапараційні мембрани, що являють собою композиційні полідиметилсилоксанкерамічні мембрани з високою швидкістю поділу випаром водно-етанольних сумішей. Мембрани виготовляють нанесенням шару полідиметилсилоксану товщиною 5...10 мкм на пористу трубчасту керамічну підкладку з ZnO_2/Al_2O_3 . Швидкість поділу збільшується з підвищенням температури та концентрації етанолу у суміші. Авторами запропоновано оптимальні умови поділу водно-етанольних сумішей [29].

В даний час основне завдання фундаментальних досліджень в області мембранної техніки полягає не тільки у створенні нових методів виготовлення, але й у розробці мембран нових поколінь з структурою, що цілеспрямовано формується. Створення мембран з бар'єрними, досконалими структурою шарами, товщина яких порівнянна чи перевищує лише кілька разів товщину біологічних мембран, може кардинально змінити весь вигляд мембранної технології [30]. У цьому випадку слід очікувати експоненціальну залежність констант вибіркового перенесення від товщини мембрани при реалізації досить великих за величиною потоків, що проходять через мембрану. Роботи в цьому напрямі тільки розпочато, але вже є певні результати. У Японії розроблені анізотропні мікропористі фільтруючі мембрани, які забезпечують можливість строго вибіркового фільтрування завдяки гідрофільним властивостям селективного шару. У США розроблено проникну мембрану для селективного видалення фосфатних аніонів [31]. Молекулярна мембрана містить поперечно-сшити полімерну матрицю з розташованими в ній порами і селективні ділянки на внутрішній її частині, які забезпечують підвищену проникність фосфатних аніонів.

Обираючи мембранні елементи для обробки харчових рідин потрібно розуміти, що неорганічні УФ-мембрани характеризуються широким діапазоном діаметрів пор і зазвичай гідрофобні, то органічні — володіють більш вузьким розподілом пор за діаметром і можуть бути як гідрофобними так і гідрофільними (табл. 2).

Таблиця 2 — Характеристики найбільш поширених ультрафільтраційних мембран (складено авторами на основі [21])

№ п/п	Матеріал	Гідрофільність/ гідрофобність	Розмір пор, мкм/ молекулярне відсікання, кДа
1	C/CA	Виражено гідрофільні	0,15–0,22 мкм 3–100 кДа
2	PES, PVDF, PS, PAN	Гідрофобні, легко гідрофілізуються	0,16–0,2 мкм 10–100 кДа
3	PE, PP	Гідрофобні, погано гідрофілізуються	0,1–0,2 мкм 5–50 кДа
4	Кераміка/ Металокераміка	Гідрофобні, погано гідрофілізуються	0,1–0,5 мкм 5–200 кДа

З матеріалів, викладених у цьому розділі, можна дійти невтішного висновку, що першочергові завдання подальшого розвитку мембранної науки будуть пов'язані передусім з пошуком нових шляхів створення мембранних матеріалів, які забезпечують підвищену ефективність поділу, зокрема ультрафільтраційного. Створенням нових типів мембран активно займаються вчені у всьому світі. На жаль, даних щодо розробки сучасних типів УФ-мембран в Україні у вивчених нами літературних джерелах виявлено не було.

Однак такі розробки є в Білорусі. Інститутом фізико-органічної хімії НАН Білорусії випускаються напівпроникні помірно гідрофільні УФ-мембрани типу ПАН, які успішно можуть бути використані в баромембранних технологіях харчових виробництв нашої країни [22]. На жаль, відомості про їх характеристики дуже обмежені, а рекомендації щодо їх використання у харчових технологіях відсутні взагалі, що зумовлює необхідність проведення додаткових досліджень щодо визначення їх фізико-хімічних характеристик та підготовки практичних рекомендацій щодо їх використання у харчових галузях промисловості, зокрема, при переробки високомолекулярних харчових рідин як тваринного, так і рослинного походження.

Висновки. Таким чином, для удосконалення процесових та технічних аспектів мембранної обробки харчових рідин рослинного та тваринного походження необхідно здійснити підбір напівпроникних мембран в залежності від характеристик технологічного процесу та виду сировини. Тому в дослідженні було виявлено сучасну загальну класифікацію існуючих напівпроникних мембран, що використовуються на підприємствах харчової та переробної промисловості в усьому світі. Представлено характеристики найпоширеніших у використанні напівпроникних мембран та наведено напрямки удосконалення мембранних елементів з метою розробки нових технічних рішень, що підвищить продуктивність процесів розділення харчових рідин.

Список літератури

1. Berk Z. Food process Engineering and Technology. USA: Elsevier, 2009. 605 p.
2. Cheang B., Zydney A.L. A two-stage ultrafiltration process for fractionation of whey protein isolate. *Journal of Membrane Science*. 2004. Vol. 231. №1–2. pp. 159–167.
3. Поляков Ю. С. Мембранное разделение в тупиковых полуволоконных фильтрах при постоянном трансмембранном давлении. *Теоретические основы химической технологии*. 2005. Т. 39/ № 5. С. 499–506.
4. Brennan J.G., Food processing handbook, Weinheim. UK: Wiley-VCH, 2006. 582 p.
5. Bhattacharjee C., Saxena V., Dutta S. Fruit juice processing using membrane technology: A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2017. № 43. pp. 136–153.
6. Золотухіна І.В. Наукове обґрунтування технологій напівфабрикатів на основі цільового використання нутрієнтів білково-вуглеводної молочної сировини: дис... д-ра техн. наук: 05.18.16. Харків: ХДУХТ. 2021. 303 с.
7. Castro-Muñoz, R.; Barragán-Huerta, B. E.; Fíla, V.; Denis, P. C.; Ruby-Figueroa, R. Current role of membrane technology: From the treatment of agro-industrial by-products up to valorization of valuable compounds. *Waste Biomass Valoriz*. 2017. pp. 1–17.
8. Некоз О. І., Литвиненко О. А., Пашенко Б. С. Інтенсифікація технології водоочищення для харчових підприємств. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2016. Вип. 179. С. 139–145.
9. Тамин А. Мембранные технологии в производстве напитков и молочных продуктов. М.: Профессия, 2016. 416 с.
10. Drioli E., Ali A., Macedonio F. Membrane operations for process intensification in Desalination. *Membrane Desalination*. 2017. № 7(1). pp. 70–100.
11. Yammine S., Rabagliato R., Vitrac X., Peuchot M. M., Ghidossi R. Selecting ultrafiltration membranes for fractionation of high added value compounds from grape pomace extracts. *OENO One*. 2019. Vol. 53. No. 3. pp. 487–497.
12. Брик М. Т. Енциклопедія мембран. Т. 2. Київ : Києво-Могилянська академія, 2005. 546 с.
13. Determination of ultrafiltration membranes shrinkage factor / G. Deinychenko, Z. Mazniak, D. Kramarenko, V. Guzenko. *Ukrainian Food Journal*. 2015. Vol. 4. Iss. 2. pp. 328–334.
14. Брик М. Т. Енциклопедія мембран. Т. 1. Київ : Києво-Могилянська академія, 2005. 658 с.
15. Wei J., Helm G. S., Corner-Walker N., Hou X. Characterization of a non-fouling ultrafiltration membrane. *Desalination*. 2006. Vol. 192. pp. 252–261.

16. Peinemann V., Pereira Nunes S., Giorno L. Membranes for food applications. Borchester. UK : Wiley-VCH, 2011. 264 p.
17. Мирончук В. Г., Змієвський Ю. Г. Мембрані процеси в технології комплексної переробки сироватки : монографія. Київ : НУХТ, 2013. 153 с.
18. Milić J. K., Petrinić I., Goršek A., Simonič M. Ultrafiltration of oilin-water emulsion by using ceramic membrane: Taguchi experimental design approach. *Central European Journal of Chemistry*. 2014. № 12(2). pp. 242–249.
19. Lau W. J., Ismail A. F., Matsuura T. and etc. Advanced materials in ultrafiltration and nanofiltration membranes / Handbook of Membrane Separations: Chemical, Pharmaceutical, Food, and Biotechnological. Abingdon: Taylor & Francis Group, LLC, 2015. pp. 7–34.
20. Goma H. G., Rao S. Analysis of flux enhancement at oscillating flat surface membranes. *Journal of Membrane Science*. 2011. Vol. 374. pp. 59–66.
21. Пашенко Б. С. Закономірності мембранного розділення дисперсних систем з урахуванням структурно-механічних параметрів фільтрувальних елементів та осаду: дис... канд. техн. наук: 05.18.12. Київ: НУХТ, 2020. 199 с.
22. Гафуров О. В. Усовершенствование процесса ультрафильтрации белково-углеводного молочного сырья и его аппаратное оформление: дис... канд. техн. наук: 05.18.12. Харьков: ХГУПТ. 256 с.
23. Дейниченко Г. В., Мазняк З. О., Гафуров О. В. Аналіз конструкцій мембранних модулів на основі капілярних мембран. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2010. Ч. 2. № 10(152). С. 90–92.
24. Lutz H. Ultrafiltration for Bioprocessing. United Kingdom : Woodhead Publishing, 2015. 244 p.
25. 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. pp. 74–81.
26. Drioli E., Giorno L. Membrane operations: innovative separations and transformations : monography. Weinheim, UK: Wiley-VCH, 2009. 578 p.
27. Peeva P. D., Knoche T., Pieper T., Ulbricht M. Cross-flow ultrafiltration of protein solutions through unmodified and surface functionalized polyethersulfone membranes. Effect of process conditions on separation performance. *Separation and Purification Technology*. 2012. № 92. pp. 83–92.
28. Бубела Г. С., Коновалова В. В., Колесник І. С., Бурбан А. Ф. Модифікування поверхні полівініліденфлуоридних мембран поліетиленіміном. *Himia, Fiziķa ta Tachnologia*. 2022. V. 13. № 1. pp. 94–104.
29. Arnal J. M., García-Fayos B., Sanch M. Membrane Cleaning. Expanding Issues in Desalination. 2011. pp. 3–84.
30. Пашенко Б. С., Штефан Є. В., Литвиненко О. А. Перспективні матеріали для фільтраційних мембран харчової промисловості. *Харчова промисловість*. 2016. № 20. С. 123–129.
31. Hu K., Dickson J. M. Membrane Processing for Dairy Ingredient Separation. Oxford : Wiley Blackwell, 2015. 269 p.

References

1. Berk, Z. (2009). Food process Engineering and Technology. USA, Elsevier, 605 p.
2. Cheang, B., Zydney, A.L. (2004). A two-stage ultrafiltration process for fractionation of whey protein isolate, *Journal Membrane Science*, V. 231, № 1–2, pp. 159–167.
3. Polyakov YU.S. (2005). *Membrannoe razdelenie v tupikovykh polovolokonnykh filtrah pri postoyannom transmembrannom davlenii* [IMembrane separation in dead end hollow fiber filters at constant transmembrane pressure]. *Teoreticheskie osnovy himicheskoy tekhnologii* [Theoretical foundations of chemical technology], v. 39, no. 5, pp. 499–506.
4. Brennan J.G. (2006). Food processing handbook. Weinheim, UK, Wiley-VCH, 582 p.
5. Bhattacharjee, C., Saxena, V., Dutta, S. (2017). Fruit juice processing using membrane technology: A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. no. 43, pp. 136–153.

6. Zolotukhina, I. V. (2021). *Naukove obgruntuvannya tekhnologij napivfabrykativ na osnovi ciljovogho vykorystannja nutrijentiv bilkovo-vuglevodnoji molochnoji syrovyny* [Scientific substantiation of technologies of semi-finished products on the basis of target use of nutrients of protein-carbohydrate dairy raw materials. PhD in Engineering sciences thesis]. Kharkiv, KhDUKhT, 303 p.
7. Castro-Muñoz, R., Barragán-Huerta, B., Fíla, V., Denis, P., Ruby-Figueroa, R. (2017). Current role of membrane technology: From the treatment of agro-industrial by-products up to valorization of valuable compounds. *Waste Biomass Valoriz.* 2017, pp. 1–17.
8. Nekoz, O. I., Litvinenko, O. A., Pashchenko, B. S. (2016). *Intensyfikaciya texnologiyi vodoochyshtennya dlya xarchovyx pidpryyemstv* [Intensification water treatment technologies for food companies]. *Visnyk Xarkivskogo nacionalnogo texnichnogo universytetu silskogo gospodarstva imeni Petra Vasylenka* [Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture], no. 179, pp. 139–145.
9. Tamin, A. (2016). *Membrannye tehnologii v proizvodstve napitkov i vina* [Membrane technologies in the production of beverages and wine], Moscow, Professiya, 416 p.
10. Drioli, E., Ali, A., Macedonio, F. (2017). Membrane Operations for Process Intensification in Desalination. *Membrane Desalination*, 7(1), pp. 70–100.
11. Yammine, S., Rabagliato, R., Vitrac, X., Peuchot, M. M., Ghidossi, R. (2019). Selecting ultrafiltration membranes for fractionation of high added value compounds from grape pomace extracts. *OENO One*, V. 53. no. 3. pp. 23–43.
12. Brik, M. T. (2005). *Encyklopediya membran* [Encyclopedia of membranes], vol. 2, Kiyiv, Kiyevo-Mogilyanska akademiya, 546 p.
13. Deinychenko, G., Mazniak, Z., Kramarenko, D. Guzenko, V. (2015). Determination of ultrafiltration membranes shrinkage factor. *Ukrainian Food Journal*, 4, 2, pp. 328–334.
14. Brik, M.T. (2005). *Encyklopediya membran* [Encyclopedia of membranes], vol. 1, Kiyi, Kiyevo-Mogilyanska akademiya, 658 p.
15. Wei, J., Helm, G. S., Corner-Walker, N., Hou, X. (2006). Characterization of a non-fouling ultrafiltration membrane. *Desalination*, vol. 192, pp. 252–261.
16. Peinemann, V., Pereira Nunes, S., Giorno, L. (2010). *Membranes for food applications*, Borchester, UK, Wiley-VCH, 264 p.
17. My'ronchuk, V. G., Zmiyevs'ky'j, Yu. G. (2013), *Membrani procesy v texnologiyi kompleksnoyi pererobky syrovatky* [Membrane processes in technology of whey processing complex], Kyiv, NUXT, 126 p.
18. Milić, J. K., Petrinić, I., Goršek, A., Simonič, M. (2014). Ultrafiltration of oilin-water emulsion by using ceramic membrane: Taguchi experimental design approach. *Central European Journal of Chemistry*, no. 12(2), pp. 242–249.
19. Lau, W.J., A. Ismail, F., Matsuura, T. (2015). Advanced materials in ultrafiltration and nanofiltration membranes. *Handbook of Membrane Separations: Chemical, Pharmaceutical, Food, and Biotechnological*, Abingdon, Taylor & Francis Group, LLC, pp. 7–34.
20. Gomaa, H., Rao, S., (2011). Analysis of flux enhancement at oscillating flat surface membranes. *Journal of Membrane Science*, no. 374, pp. 59–66.
21. Pashchenko, B. S. (2020). *Zakonomirnosti membrannogo rozdilennya dispersnih sistem z urahuvannyam strukturno-mehanichnih parametriv filtruvalnih elementiv ta osadu* [Patterns of membrane separation of dispersed. PhD in Engineering sciences thesis], Kiiv, NUHT, 256 p.
22. Gafurov, O. V. (2016). *Usovershenstvovanie processa ul'trafil'tracii belkovo-uglevodnogo molochnogo syr'ja i ego apparaturnoe oformlenie* [Improvement of the process of ultrafiltration of protein-carbohydrate milk raw materials and its instrumentation. PhD in Engineering sciences thesis], Kharkiv, KhDUKhT, 256 p.
23. Deinychenko, G., Mazniak, Z., Gafurov, O. (2010). *Analiz konstrukcij membrannih moduliv na osnovi kapilyarnih membran* [Analysis of the design of membrane modules based on capillary membranes]. *Visnik Shidnoukrayinskogo nacionalnogo universitetu imeni Volodymira Dalya* [Bulletin of Volodymyr Dahl Khidnoukrainian National University], vol. 2, no. 10(152), pp. 90–92.

24. Lutz, H. (2015). *Ultrafiltration for Bioprocessing*, United Kingdom, Woodhead Publishing, 244 p.
25. Lobasenko, B., Semenov, A. (2013). Intensification of ultrafiltration concentrating by the separation of the concentration boundary layer. *Foods and Raw Materials*, no. 1 (1), pp. 74–81.
26. Drioli, E., Giorno, L., (2009). *Membrane operations: innovative separations and transformations*. Weinheim, UK, Wiley-VCH, 531 p.
27. Peeva, P. D., Knoche, T., Pieper, T., Ulbricht, M. (2012). Cross-flow ultrafiltration of protein solutions through unmodified and surface functionalized polyethersulfone membranes — Effect of process conditions on separation performance. *Separation and Purification Technology*, no. 92. pp. 83–92.
28. Bubela G.S., Konovalova V.V., Kolesnik I.S., Burban A.F. (2022). *Modifikuvannya poverhni polivinilidenfluoridnih membran polietileniminom* [Modification of the surface of polyvinylidenfluoride membranes with polyethyleneimine]. *Himia, Fiyika ta Tachnologia*, no. 13(1), pp. 94–104.
29. Arnal J. M., García-Fayos B., Sanch M. (2011). Membrane Cleaning. Expanding Issues in Desalination. pp. 3–84.
30. Pashhenko, B. S., Shtefan, Ye.V., Litvinenko, O.A. (2016). *Perspektivni materialy dlya filtracijnih membran harchovoyi promislovosti* [Promising materials for filtration membranes of the kharchevo industry]. *Harchova promislovist* [Food industry], no. 20, pp. 123–129.
31. Hu K., Dickson, J. M. (2015). *Membrane Processing for Dairy Ingredient Separation*. Oxford, Wiley Blackwell, 269 p.

Objective. *The purpose of the article is to identify new types of membranes and membrane elements for improving the membrane equipment of the dairy industry.*

Methods. *The article uses generally accepted theoretical and combined methods of information analysis using modern computer programs. On the basis of experimental studies and own developments, the characteristics of the membranes were provided by the methods of comparative and systematic analysis. In order to research new types of membranes and the peculiarities of their structure, information sources on the selected topic were analyzed: monographs, articles, encyclopedias, patents, dissertations.*

Results. *The results of analytical studies on the selection of membranes and membrane elements for the treatment of food liquids, which are widely used in various branches of the food and processing industry, are presented. The classification of modern types of membrane elements used for processing food liquids is presented, depending on the needs of food and processing industry enterprises. The technological characteristics of inorganic and organic semipermeable membranes, which are widely used in food and processing industries, are given. Examples of innovative developments of semipermeable membranes are given for improving the process aspects of processing food liquids of animal and plant origin and increasing the productivity of membrane equipment. A classification of modern directions of improvement of various types of membranes has been developed according to the latest global research. A classification of modern directions of improvement of various types of semipermeable membranes has been developed according to the latest global research and innovative developments. New methods for improving the development of new semipermeable membranes in accordance with global requirements and European standards have been identified. The obtained results can be used in the further formation of theoretical and experimental studies during the development of new equipment for membrane separation of secondary dairy raw materials and extracts of plant raw materials at food industry enterprises.*

Key words: *membrane, process, element, processing, structure, fluid, nutrition, use.*