

А. Ф. Бурбан

Мембранна технологія

МЕМБРАННА ТЕХНОЛОГІЯ – сукупність технологічних процесів і принцип організації та здійснення процесу розділення речовин, основним елементом розділення якого є мембрана. Під мембраною розуміють напівпроникну перегородку (полімер., неорган., біол., синтет. та ін. походження), крізь яку відбувається масоперенесення, спричинене дією різноманіт. рушій. сил (різниця хім. або електрохім. потенціалів по обидва боки мембрани). Здійснення мембран. процесів розділення в багатьох випадках обумовлене градієнтами тиску (баромембранні процеси), електр. потенціалу (електромембранні процеси), концентрації (дифузійні мембранні процеси) або комбінацією декількох факторів одночасно. Найчастіше за останні роки у багатьох галузях промисловості та побуті застосовують баромембранні процеси, серед яких – мікрофільтрація (розділення суспензій, емульсій і колоїд. розчинів), ультрафільтрація (очищення вод. розчинів від високомолекуляр. речовин, їхнє фракціонування), нанофільтрація (розділення вод. розчинів, що містять електроліти й низькомолекулярні речовини орган. походження), зворот. осмос (знесолення вод та очищення їх від орган. речовин і колоїдів). До М. т., де рушій. силою процесів розділення є різниця концентрацій речовин по обидва боки мембрани, належать: мембранне газорозділення (повітря, техногенні гази, отримання у пром. масштабах водню, азоту, збагачення повітря киснем тощо); процеси первапорацій. очищення води від летких орган. сполук та дегідратація орган. розчинників (зокрема азеотроп. сумішей); діалізне очищення розчинів високомолекуляр. сполук від низькомолекуляр. електролітів; мембранна екстракція з використанням рідких мембран за механізмом пасив. та актив. транспорту тощо. М. т., в яких рушій. силою та (або) важливим фактором процесу розділення є різниця т-р по обидва боки мембрани, – мембранна дистиляція, перспектива широкого застосування якої пов'язана з можливістю отримання високочистої води з вод практично будь-якого складу та рівня забрудненості (за винятком вод, що містять леткі та поверхн.-активні речовини), концентрування нелетких мінерал. та орган. речовин. Серед електромембран. технологій розділення та очищення вод. розчинів широкого вжитку набули: електродіалізне очищення та опріснення солоних та солонуватих вод, очищення розчинів електролітів; очищення води від колоїдів та мікроорганізмів шляхом електрофільтрування; біполяр. електродіаліз як ефектив. та альтернативний класич. метод синтезу хім. реагентів, лікар. препаратів та очищення й виділення продуктів

харчування. Перші наук. спостереження за мембран. методами розділення проведено 1748 франц. абатом і фізиком Ж. Нолле, який встановив явище вибірк. проникнення речовин через здатну частково пропускати перегородку (мембрану) з бичачого міхура, що отримало назву «осмос». Наступ. вагомим кроком у розвитку вчення мембранології стали роботи нім. учених Ф. Рейсса (1803) і Т. Порре (1816), які досліджували явище електроосмосу. Епохал. віхою у розвитку вивчення мембран. процесів стало відкриття нім. фізиком А. Фіком законів дифузії, що й нині є основою опису розділювал. властивостей мембран у багатьох мембран. процесах. Шотланд. хімік Т. Грехем 1857 відкрив явище діалізу та газопроникності мембран. 1860–87 нім. хіміки-фізіологи М. Траубе і В. Пфєффер та нідерланд. фізико-хімік Я.-Г. Вант-Гофф вивчали закономірності процесу осмосу, в результаті чого останній сформулював закон визначення осмотич. тиску розчинів: $\pi = CRT$, де π – осмотич. тиск; C – молярна концентрація розчиненої речовини; R – універс. газова стала; T – абсолютна т-ра. 1872 Дж. Баранецький виготовив перші плоскі мембрани. 1889–90 нім. учені В. Нернст і М. Планк дослідили закономірності транспорту електролітів через напівпроникні мембрани. 1905 А. Айнштейн розвинув теорію осмотич. тиску, а 1907 П. Гендернс і 1911 Ф.-Г. Доннан розробили теорію мембран. потенціалу та мембран. рівноваги. Уявлення про розподіл пор за розмірами розвинув Г. Карплус (1933), який поєднав тех. прийоми визначення точки бульбашки і вимірювання проникності мембран за методом Гаґена–Пуазейля. Днем започаткування пром. використання синтет. мембран є дата запатентованого амер. вченими С. Лоебом і С. Соуріраджаном способу отримання високопродуктив. напівпроникної мембрани, на основі якої у серед. 1960-х рр. уведено в дію першу пром. установку опріснення води методом зворот. осмосу. Перші пром. мембрани були виготовлені з ацетату целюлози, мали анізотропну структуру із продуктивністю значно вищою за ізотропні мембрани. Щодо іонообмін. мембран, то їхнє застосування у процесах опріснення води почалося від кін. 1950-х – поч. 60-х рр. За останні роки широкого вжитку набули такі мембранні процеси, як нанофільтрація, первапорація, мембранна дистиляція, гібридні мембранні процеси, комплексні технології, серед яких значну роль відіграють М. т. В Україні дослідж. у галузі М. т. почали інтенсивно розвивати в 1970–80-і рр. у співпраці з рос. ученими та виробничниками Москви, Ленінграда (нині С.-Петербург), м. Краснодар (РФ) та ін. У низці укр. академ. н.-д. установ (Інститут колоїд. хімії та хімії води, Інститут хімії високомолекуляр. сполук, Інститут заг. та неорган. хімії тощо), галуз. НДІ почали інтенсивно проводити дослідж. з отримання мембран та вивчення мембран. процесів. Так, в Інституті колоїд. хімії та хімії води створ. низку відділів під керівництвом відомих учених С. Духіна, В. Гребенюка, М. Брика, В. Гончарука, які займалися наук. розробками теор. та практ. засад баромембран. (зворот. осмосу, ультрафільтрації, нанофільтрації), електромембран. процесів, отримання нових типів полімер. та керам. мембран, розробленням мембран. та комплекс. процесів і технологій тощо. Знач. внесок у розвиток М. т. зробили галуз. НДІ, провідні ВНЗи Києва, Харкова, Львова, Дніпропетровська (нині Дніпро) та ін., що разом із підприємствами хім. та текстил. пром-стей налагодили

виробництво фільтрувал. полімерів і матеріалів. Знач. перевагою мембран. процесів над ін. альтернатив. технологіями є те, що вони відбуваються, зазвичай, без енергоєм. фазових переходів речовин, що відносно опріснення 1 м³ мор. води методом зворот. осмосу в порівнянні з методом терміч. дистиляції дає економію понад 200 МДж енергії. У результаті різної швидкості проходження компонентів розчину через мембрану виникає концентрац. поляризація, що обумовлена накопиченням у мембран. шарі речовини з пониженою проникністю (меншою швидкістю проникнення). Це спричинює пониження рушій. сили мембран. процесу, що обумовлює падіння питомої продуктивності, зміну селективності та скорочення терміну експлуатації мембран. Серед негатив. факторів мембран. процесів, пов'язаних з концентрац. поляризацією, є можливість осадження на мембрані важкорозчин. солей, гелеутворення високомолекуляр. речовин, мікробіол. забруднення мембран тощо. Ефектив. методом зменшення впливу концентрац. поляризації є інтенсивне перемішування (турбулізація) розчину до 3–5 м/с за допомогою спец. пристосувань та особливостей конструкції мембран. апаратів, ультразвуку тощо.

Мембрани, що застосовують у М. т., класифікують за різними ознаками: за походженням матеріалу – природні (біол.) та синтетичні орган. (рідкі й полімерні) і неорганічні (скляні, вуглец. (графіт.), метал., керам. та металокерам.); за морфологією (будовою їхньої структури), напр., синтет. мембрани, відповідно до цього, поділяють на поруваті та непористі, симетр. та асиметр., композитні, ізотропні та анізотропні; за формою – плоскі, трубчаті, порожнисто-волоконні тощо. Форма мембрани знач. мірою визначає будову мембран. модуля та його робочі характеристики (площу поверхні фільтрації, гідродинам. режими експлуатації, продуктивність та селективність, здатність до регенерації та ін.). Мембрани виготовляють з різних матеріалів: плівкоутворювал. полімерів, скла, керам. матеріалів, дисперс. металів та оксидів металів тощо. Найпоширеніші упродовж багатьох років є полімерні мембрани, оскільки їх просто й відносно дешево виготовити. Проте до мембран висувають низку принципово важливих вимог, що часто взаємно заперечують одна одну, зокрема, вони повинні мати хорошу селективну здатність, високу питому продуктивність та хім. стійкість в агресив. багатоконцент. середовищах, мех. стійкість, зберігати незмінними характеристики упродовж тривалого часу експлуатації, при цьому мати низьку собівартість. Через непористі мембрани розчинні речовини і розчинник проникають під дією градієнта концентрації, що характерно для дифузій. процесів. Такі мембрани називають дифузійними. Швидкість дифузії молекул через дифузійну мембрану прямо пропорційна коефіцієнту дифузії, що, у свою чергу, залежить від розміру молекул, їхньої форми тощо. Такі мембрани, зазвичай, застосовують для розділення газових та рідких систем (мембранне газорозділення та випаровування через мембрану). Для баромембран. процесів (ЗО, НФ, УФ, МФ) найчастіше використовують пористі полімерні та керам. мембрани анізотроп. (асиметр.) типу. За роки наук. дослідж. та пром. застосування мембран науковці та практики, в основному, вже визначилися з природою полімерів та

типами мембран для вирішення різноманіт. технол. задач. Це, насамперед, целюлозні мембрани на основі естерів целюлози і їхніх сумішей, поліакрилонітрильні мембрани, поліамідні, полікарбонатні, полісульфонові, поліетерсульфонові тощо. Для практ. застосування мембран. технол. процесів нині використовують такі осн. типи мембран. апаратів: плоскокамерні; рулонні (спірал.); порожнисто-волоконні (капілярні). У плоскокамер. апаратах розділення відбувається листовими мембранами, які опираються на поруватий дренаж. матеріал, що виконує опорно-транспортну функцію. Мембрани розташ. таким чином, що утворюють досить вузький канал, по якому циркулює розчин з певною тангенцій. швидкістю і під визначеним робочим тиском. Пермеат, що проходить крізь мембрани по дренаж. матеріалу, відводиться у колектор. Розчин, що не пройшов через мембрани, збагачений затриманими речовинами, утворює ретентат (концентрат) і виводиться з апарату. В апаратах такого типу щільність упаковки мембрани є досить низька порівняно з апаратами ін. типів і становить 60–300 м²/м³. Трубочатий апарат (мембрана, дренаж. матеріал, трубочатий фільтрув. елемент) складається з певної кількості поруватих трубок діаметром 5–20 мм, на зовн. чи внутр. поверхнях яких знаходиться селективна мембрана. Початк. потік (розчин) направляють з боку селектив. шару у внутрішньотруб. або міжтруб. простір. Щільність упаковки апаратів такого типу, як і в плоскокамер. апаратах, є досить низькою і складає 60–200 м²/м³. У рулон. апаратах (мембрана, дренаж. матеріал, фіксатор, сепаратор, трубка пермеату) мембран. елемент має вигляд довгого рукава, який складається з двох мембран, що опираються на дренаж. матеріал, разом із сіткою-сепаратором закручується в рулон. Цей рукав загерметизов. шляхом склеювання чи ультразвуку. зварювання з 3-х боків, а 4-м закріплений до перфорованої трубки, де збирається пермеат. Потік, що подається у мембран. елемент, рухається в осьовому (тангенцій.) напрямі по міжмембран. каналах, що утворені сітками-сепараторами. Апарати такого типу характеризуються досить високою щільністю упаковки мембран, що складає 300–800 м²/м³. В апаратах із порожнисто-волокон. мембранами робочим модулем є циліндрич. корпус визначених параметрів, в якому знаходиться певна кількість загерметизов. волокон із зовн. діаметром 50–300 мкм і товщиною стінки 15–50 мкм. Робочий розчин подають як на зовн. частину волокна, так і у внутрішню (це залежить від особливостей процесу та від того, яка частина волокна має селектив. шар). Завдяки високій щільності упаковки мембран (до 20 000 м²/м³) апарати такого типу застосовують як в опріснювал. установках високої продуктивності, так і при процесах мембран. газорозділення. Для зворотно-осмотич. процесів найчастіше використовують рулонні та капілярні апарати, для ультрафільтрації та мікрофільтрації – плоскокамерні та трубочаті; крім того, для мікрофільтрації широко застосовують також патронні (картриджні) фільтри як мембран., так і немембран. типу. Для мембран. газорозділення використовують рулонні та порожнисто-волоконні модулі, для діалізу – діалізатори з мембранами пластинчатого і капіляр. типу, кожен з них має свої певні переваги та недоліки. Однак, найефективнішими та безпечними нині є капілярні діалізатори, мембрана яких виконана із синтет. та

біологічно інерт. матеріалів з високим рівнем біосумісності – полісульфону, полі акрилотітрилу, целюлози та деяких кополімерів. Розвиток М. т. у світі й в Україні спрямований, насамперед, на отримання мембран і створення на їхній основі технологій із функціонал. властивостями (сенсор., імуносенсор., матрич., рН- та магніточутливими, каталітич., біокаталітич., гібрид., біоцид., зарядженими тощо). Значення М. т. зростає, оскільки нині вони є одним з небагатьох напрямів, де одночасно можна вирішити питання розвитку сучас. промисловості та екол. безпеки. Нині в Україні представлені більшість провід. виробників мембран. обладнання, модулів насосів, трубопроводів, вимірюв. техніки, контролерів тощо (модулі «Toqua», «DOW Filmtec», «GEOsmonics», «Honeywell», «Hydranautics», «Grundfos», «X-Flow» та ін.). М. т. та комплексні системи на їхній основі нині широко застосовують під час вирішення питань очищення води: побут. та пром. підготовки води, особливо питної; перероблення та очищення пром. стіч. вод із вилученням і поверненням у пром. процеси як технол. вод, так і цінних елементів, що містилися в них; біотехнології та медицини (отримання чистої води, концентрування біологічно актив. речовин та лікар. препаратів, гемофільтрація та генна інженерія); харчової промисловості (отримання води для виробництва рідких харч. продуктів, бутильов. води, різні аспекти використання М. т. у молоч. промисловості); хім. промисловості (розділення, очищення та концентрування розчинів і розчин. речовин); розділення газових сумішей та отримання пром. газів. У деяких ВНЗх Києва, Дніпра, Харкова, Одеси відповідно до навч. планів підготовки спеціалістів певного профілю читають курси, що дотичні до М. т., у Нац. університеті «Києво-Могилян. академія» є програма з підготовки магістрів за спеціальністю «Мембранні та сорбційні процеси і технології».

Рекомендована література

1. Гребенюк В. Д. Электродиализ. К., 1976;
2. Дытнерский Ю. И. Обратный осмос и ультрафильтрация. Москва, 1978;
3. Його ж. Баромембранные процессы. Москва, 1986;
4. Брок Т. Мембранная фильтрация / Пер. с англ. Москва, 1987;
5. Тимашев С. Ф. Физикохимия мембранных процессов. Москва, 1988;
6. Брык М. Т., Цапюк Е. А. Ультрафильтрация. К., 1989;
7. Шапошник В. А. Кинетика электродиализа. Воронеж, 1989;
8. Духин С. С., Сидорова М. П., Ярощук А. Э. Электрохимия мембран и обратный осмос. Ленинград, 1991;
9. Дытнерский Ю. И., Брыков В. П., Каграманов Г. Г. Мембранное разделение газов. Москва, 1991;
10. Мулдер М. Введение в мембранную технологию / Пер. с англ. Москва, 1999;
11. Брик М. Енциклопедія мембран: У 2 т. К., 2005–06.

Бібліографічний опис:

Мембранна технологія / А. Ф. Бурбан // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / Редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. – К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2018. – Режим доступу:

<https://esu.com.ua/article-66494>

2001-2025 © Ця енциклопедична стаття захищена авторським правом згідно з чинним законодавством України ([докладніше](#)).