

*Традиційні технології очищення води (засновані на коагуляції та відстоюванні, а також на окисненні чи іонному обміні) виявляються неефективними в умовах сучасних антропогенних навантажень та нових більш жорстких вимог до якості питної та технічної води.*

*Використання мембранних технологій у промисловості відкриває широкі перспективи для можливості створення принципово нових енергозберігаючих, екобезпечних технологічних схем*

*Ключові слова: очистка води, мембранні технології, перварпорація*

*Традиционные технологии очистки воды (основанные на коагуляции и отстаивании, а также на окислении или ионном обмене) оказываются неэффективными в условиях современных антропогенных нагрузок и новых более жестких требований к качеству питьевой и технической воды.*

*Использование мембранных технологий в промышленности открывает широкие перспективы для возможности создания принципиально новых энергосберегающих, экобезопасных технологических схем*

*Ключевые слова: очистка воды, мембранные технологии, перварпорація*

УДК 628.316.12

## ОГЛЯД МЕМБРАННИХ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ ВОДИ У ВОДОПОСТАЧАННІ ТА ВОДОПІДГОТОВЦІ

І. А. Буртна

Кандидат технічних наук, доцент\*  
Контактний тел.: (044) 241-68-83

Д. В. Литвиненко

Магістр\*  
Контактний тел.: 067-292-28-44  
E-mail: Dariya.Lytvynenko@meta.ua

\*Кафедра біотехніки та інженерії факультету біотехнології і біотехніки

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

пр. Перемоги, 37, корпус 4, м. Київ, Україна, 03056

### 1. Вступ

Водопідготовка і водопостачання – важливі елементи людської діяльності в промисловості і в побуті. Але завдяки все тій же діяльності, яка довгий час, а у деяких випадках і дотепер, лишається нераціональною, придатні для використання та різноманітних потреб водні ресурси стрімко скорочуються, а ціни на них також стрімко зростають. Тому водопідготовка і водопостачання стають пріоритетним напрямком в модернізації і підвищенні ефективності всіх виробництв. Ефективна водоочистка і водопідготовка - проблеми, які сьогодні стоять перед багатьма виробництвами. І щоб ці проблеми швидко і якісно вирішити, необхідно мати надійну технологію і обладнання.

### 2. Актуальність проблеми

Очищення і рециркуляція, а також гібридні процеси є найбільш раціональними способами обробки стоків. У першому випадку досягається очищення води до рівня, що дозволяє її повторне використання у виробничому циклі. У другому випадку, поряд з рециркуляцією води можливе повторне використання розчинених речовин.

На даний час все більш широко в промисловості і побуті знаходять застосування мембранні методи очистки води. Переваги мембранної технології, порівняно з традиційними, фізико-хімічними методами фільтрації очевидні:

- висока ступінь очистки води в один ступінь, стадію; немає необхідності в послідовному застосуванні різноманітних технологічних ланцюгів;
- стабільна якість фільтрату на виході незалежно від зміни вхідного складу;
- для процесу мембранної очистки води практично не потрібні хімічні реагенти;
- технологія дозволяє отримати максимальну кількість чистої води з вхідного потоку. Таким чином, вирішуються одночасно дві найважливіші природоохоронні задачі: скоротити використання вихідних ресурсів, при цьому значно зменшити кількість скиду. Очистка стічних вод з використанням мембран дає можливість застосувати безвідходну технологію очистки води.
- високий рівень ККД технології та низькі енергетичні затрати дають високу економічну ефективність процесу;
- всі типи мембран виконані з полімерних і корозійно-стійких матеріалів, а тому є довговічними. Установки на основі мембран займають мінімальні площі, вони повністю автоматизовані і не потребують постійного обслуговування.

Отже, сучасні мембранні методи давно привертають увагу спеціалістів завдяки широкому переліку їх переваг над іншими процесами очистки води [1].

### 3. Основна частина

Сьогодні у системах водопідготовки використовуються мембранні технології, що дозволяють отримати воду практично будь-якого складу з високим ступенем очистки (видалення розчинених у воді домішок може доходити до значення рівного 99,8%). Рушійною силою мембранних процесів є різниця по обидва боки мембрани концентрацій розчиненої речовини в діалізі, електричних потенціалів – в електродіалізі, робочого тиску – в баромембранних процесах (зворотний осмос, мікрофільтрування, нанофільтрування, ультрафільтрування), парціального тиску водяної пари в мембранній дистиляції і концентрацій в первапорації.

Електродіаліз нині застосовують здебільшого для опріснення солоної води. Однак у разі невисокого вмісту солей у воді та у разі їх невеликого об'єму цей спосіб є ефективним для концентрування, особливо для комбінування з іншими способами, наприклад дистиляцією або кристалізацією і хімічним осадженням. Перевагою електродіалізу перед іншими способами є відсутність фазового перетворення води, яке відбувається під час дистиляції, виморожування чи застосування газогідратного способу. Споживання енергії пропорційне вмісту солей у знесолюваній воді [2]. Однак цей спосіб має недоліки, до яких належать: утворення осадів карбонату кальцію, гідроксиду магнію та гіпсу в разі роботи в умовах поляризації; «отруєння» катіонообмінних мембран залізом, манганом, а аніонообмінних – органічними речовинами, які містяться в оброблюваній воді; у разі роботи установки на струмі з граничною густиною, нижчою за оптимальні значення, значно зростає вартість процесу; внаслідок відсутності апаратів великої одиничної потужності збільшуються питомі капітальні та експлуатаційні затрати.

Потреба застосування високих робочих тисків для очищення та опріснення концентрованих розчинів, є значним обмеженням використання зворотного осмосу, незважаючи на низькі питомі витрати енергії (у 8-10 разів менші порівняно з дистиляцією). Так, для опріснення морської води за вмісту солей 3,5 % робочий тиск у зворотноосмотичному апараті становить 7-8 МПа, тоді як осмотичний тиск цієї води досягає 2,45 МПа. Недоліком цього процесу є також потреба попереднього багатостадійного очищення розчинів від завислих, колоїдних часточок, мікроорганізмів, солей твердості та малорозчинних сполук. Але незважаючи на певні недоліки, цей спосіб широко застосовують для опріснення мінералізованих природних і стічних вод. Перевагою зворотного осмосу є те, що він відбувається без фазових перетворень і енергія здебільшого витрачається на створення підвищеного тиску над розчином та його продавлювання крізь мембрану. При цьому витрати енергії мінімальні і наближаються до мінімальної термодинамічної роботи опріснення води. Порівняно зі способом дистиляції витрати енергії в зворотноосмотичному процесі в 10-15 разів менші.

Ультрафільтрування застосовують для розділення систем, в яких молекулярна маса розчинених компонентів набагато більша за молекулярну масу розчинника (води). На практиці ультрафільтрування використовують тоді, коли один із компонентів розчину має молекулярну масу понад 500 D.

Процес нанофільтрування використовують для розділення речовин за робочих тисків 1-2 МПа з молекулярною масою 300-500 D. Нанофільтрування застосовують для очищення природних і стічних вод. Цей процес можна використовувати замість коагуляції і фільтрування та для зм'якшення води. У разі оброблення води із вмістом солей до 1000 мг/дм<sup>3</sup> кольоровість водозменшується на 96%, вміст сульфатів – на 96, а вміст загального органічного вуглецю – на 84 %. Нанофільтрування можна застосовувати для підготовки питної води з поверхневих водойм без традиційного фізико-хімічного оброблення.

Мікрофільтрування застосовують для відокремлення від розчинника (води) завислих та колоїдних часточок розміром 0,1-10 мкм. Рушійна сила процесу – різниця тисків 0,01-0,05 МПа з обох боків мембрани.

Діаліз здійснюють за допомогою непористих мембран і застосовують для розділення речовин, що досить різняться за молекулярною масою. Так можна очищати розчини полімерів від низькомолекулярних електролітів та інших сполук. Оскільки діаліз характеризується низькою продуктивністю та великими витратами розчинника, що багаторазово замінюється з одного боку мембрани, то його доцільно використовувати після ультра- або мікрофільтрувального концентрування розчинів високомолекулярних сполук або колоїдів.

Мембранну дистиляцію застосовують для отримання чистої і високочистої води з різним вмістом розчинених солей; очищення стічних вод, що містять нелеткі неорганічні електроліти та органічні речовини; концентрування солей з відпрацьованих промивних вод різних технологічних процесів; концентрування розбавлених розчинів нелетких мінеральних кислот, лугів, термолабільних біологічно активних речовин (вітамінів, білків, ферментів) тощо. Недоліком мембранної дистиляції порівняно з баромембранними процесами є її відносно невелика продуктивність (5-35 л/(м<sup>2</sup>-год)) та неможливість її застосування для очищення води, що містить леткі й поверхнево-активні речовини.

Використовуючи первапорацію, за допомогою непористих мембран вилучають із води домішки органічних речовин (спиртів, бензолу, толуолу, ацетону, хлоропохідних аліфатичних вуглеводнів та ін.). Для видалення органічних компонентів з стічних вод можуть використовуватися різні процеси. При цьому застосування цих процесів зазвичай обмежується деяким діапазоном концентрацій, обумовленим технічними або економічними міркуваннями. У діапазоні концентрації від 10 мг/л до 1% об. первапорація може конкурувати з більшістю процесів, які застосовуються для обробки стічних вод. При цьому нижня концентраційна межа застосування первапорації (10 мг/л) є результатом економічних розрахунків і пов'язана тільки з експоненціальним зростанням необхідної поверхні мембрани при роботі з меншими концентраціями [3].

Процес первапорації дозволяє ефективно розділяти різні водно-органічні суміші (очищення стічних вод і осушка органічних розчинників) і суміші органічних речовин. Перспективність первапорації пов'язана як з актуальністю розв'язуваних завдань, так і з високою ефективністю процесу в порівнянні з іншими процесами поділу, з можливістю розділення азеотроп-

них сумішей, малою енергоємністю, безреагентністю і компактністю обладнання.

Стримуючими промислове використання процесу завданнями являються:

- - пошук і вибір мембранних матеріалів, що відповідають специфічним вимогам для вирішення певної задачі розділення;
- - виявлення основних факторів, що впливають на ефективність розділення.

---

#### 4. Висновки

---

Сучасна екологічна ситуація сприяє більш широкому використанню мембранних систем. Це пояснюється в першу чергу підвищеними вимогами до якості питної води – вмісту хлороорганічних сполук, хвороботворних бактерій, фторидів, нітратів і т.д. Сучасні мембрани демонструють беззаперечну ефективність і універсальність в очистці води від різноманітних видів забруднень. Іншою важливою рисою сучасних мембранних технологій є їх «екологічна чистота» - відсутність використовуваних реагентів і, відповідно,

небезпечних для навколишнього середовища скидів і осадів, які створюють проблему їх утилізації.

Нажалі сучасні мембранні апарати для очистки стічних вод, до яких відносять апарати електродіалізу, зворотноосмотичні, ультрафільтраційні, нанофільтраційні, мікрофільтраційні, діалізу, мембранної дистиляції не завжди виконують основні вимоги ефективної роботи.

А основними перевагами застосування первапорації для очищення стічних вод серед мембранних способів є:

- можливість роботи в широкому діапазоні продуктивності по оброблюваній воді і широкому діапазоні концентрацій органічних компонентів;
- можливість достатньо повного видалення органічних компонентів, при цьому і вода і органічні компоненти можуть повторно використовуватися;
- процес проводиться в області помірних температур і тисків без використання додаткових компонентів [4].

---

#### Література

1. Дубяга, В.П. Мембранные технологии для охраны окружающей среды и водоподготовки [Текст] / В.П. Дубяга, А.А. Поворов // ВИНТИ РАН, Информационно-аналитический журнал «Мембраны». – 2002. – № 13. – с.3-10.
2. Брык, М.Т. Мембранная технология в пищевой промышленности [Текст] / М.Т. Брык, В.Н. Голубев, А.П. Чагаровский. – К.: «Урожай», 1991. – 224с.
3. Поляков, А.М. Некоторые аспекты первапорационного разделения жидких смесей. Часть 1 [Текст] / А.М. Поляков // ВИНТИ РАН, Информационно-аналитический журнал «Мембраны». – 2004. – №4(24). – с.29-44.
4. Патент України на корисну модель №64423, МПК В01D 63/06, В01D 61/36. Мембранний апарат [Текст] / Буртна Інесса Анатоліївна, Ружинська Людмила Іванівна, Литвиненко Дарія Віталіївна, Кузьменко Катерина Василівна (UA). - № u201103752, заяв.28.03.2011; опубл.10.11.2011, бюл. № 21.

#### **Abstract**

*Traditional technologies of water purification (based on coagulation, settling, oxidation and ion exchange) are ineffective in the modern anthropogenic demand for the quality of drinking and process water.*

*The application of membrane technologies has wide prospects for the creation of new energy saving, eco-safe technological systems.*

*Pervaporation allows effective separation of different water-organic mixtures (sewage treatment and drying of organic solvents) and a mixture of organic substances. The availability of pervaporation is connected with the urgency of problems and high efficiency of the process compared with other separation processes, with the ability to separate azeotropic mixtures, low power consumption, reagentless characteristics and equipment compactness.*

*Restraining objectives of industrial application are:*

*- search and selection of membrane materials that meet specific requirements for a solution of the separation problem;*

*-identification of the main factors that affect the efficiency of separation.*

*The difficulties of membranes choice to solve specific separation problems are connected with the choice of material necessary for optimal separation of the original mixture.*

*Pervaporation is a multifactor process with conjugate heat and mass transfer and phase transitions. Thus, in applied and fundamental aspects it is necessary to study the impact of various factors on the efficiency of the impurities separation from the original mixture. Therefore, the problem of design of membrane apparatus for pervaporation sewage treatment and study of the influence of technological parameters on the course of this process are important.*

**Keywords:** *water purification, membrane technology, pervaporation*