

УДК 66.081.6

Руденко Л.С., Буртна І.А., к.т.н., доц., Шафаренко Н.В.
НТУУ «Київський політехнічний інститут», м.Київ, Україна

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ МЕМБРАННОЇ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД

Rudenko L., Burtna I., Shafarenko N.
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine, (rudenko.lesia@gmail.com)

EXPERIMENTAL RESEARCH OF TECHNOLOGICAL SCHEME OF MEMBRAN WASTEWATER PURIFICATION

Останнім часом мембранні процеси розділення рідких сумішей показали свою високу ефективність у різних галузях промисловості. При цьому застосування мембранної технології дозволяє не тільки вирішувати технологічні завдання, а й зменшувати техногенне навантаження на навколишнє середовище. В даній статті представлені експериментальні дослідження технологічних параметрів та режимів проведення процесу очищення, аналіз яких дозволяє визначити ефективні схеми очистки стічних вод. Авторами запропоновано для більш ретельного очищення води використовувати поєднання первапорації та сорбції з використанням мембранних елементів.

Ключові слова: первапорація; сорбція; мембранний елемент; очистка стічних вод; органічний забрудник; «сорбційний» апарат; гібридна схема очистки.

Вступ

В сучасних умовах науково-технічного прогресу збільшилася не тільки кількість населення Землі, а й кількість виробничих підприємств. Це призвело до того, що зросло техногенне навантаження на навколишнє середовище [1]. Адже жодна сфера людської діяльності не обходиться без використання води, тому водопідготовка і водопостачання – важливі елементи людської діяльності в промисловості і в побуті.

Ефективна водоочистка та водопідготовка – проблеми, які сьогодні стоять перед багатьма виробництвами, і щоб їх швидко та якісно вирішити, необхідно мати надійну технологію і обладнання.

Традиційні технології очищення води, які засновані на коагуляції та відстоюванні, на окисненні чи іонному обміні виявляються малоефективними в умовах більш жорстких вимог до якості води [2]. Виникає необхідність більш ретельної очистки стічних вод та утилізації відходів за допомогою екологічно безпечних і економічно обґрунтованих процесів. До таких технологій, що динамічно розвиваються і активно впроваджуються в практику, в першу чергу слід віднести мембранні технології. Їх перевагою є не тільки отримання очищеної води відповідної якості, а й можливість подальшого використання вилучених компонентів.

Аналіз літературних даних

Серед відомих мембранних методів, таких як мембранна дистиляція, діаліз та зворотній осмос, особливе місце займає первапорація – процес, в якому за допомогою непористих мембран вилучають із води домішки органічних речовин (спиртів, бензолу, толуолу, ацетону, хлоропохідних аліфатичних вуглеводнів та ін.). При здійсненні цього процесу суміш, що розділяється і концентрат є рідкими, а перміат, пройшовши через мембрану, виділяється у вигляді пари [3].

Вперше можливість розділення рідких сумішей на непористих полімерних мембранах була показана Кахленбергом ще в 1906, тоді як сам термін "первапорація", був введений Кобером. Системне вивчення процесу первапорації почалося в 50-60-х рр. минулого століття, а промислова реалізація відбулася після виготовлення фірмою GFT (Gesellschaft für Trenntechnik) першої промислової первапораційної мембрани з активним шаром із зшитого полівінілового спирту (ПВС), нанесеного на пористу підкладку з поліакрилонітрила (ПАН) [4].

Не зважаючи на розвиток теоретичних та практичних досліджень, первапораційний поділ обмежено застосовується в промисловості. При цьому, аналіз літературних джерел показує, що переважне число досліджень у цій сфері направлено на створення нових мембранних матеріалів та їх модифікацію. Однак поряд з вибором мембранних матеріалів, актуальними питаннями є також вивчення впливу різних технологічних параметрів на ефективність розділення і вивчення механізму процесу переносу [5, 6, 7].

Залежно від завдання поділу, можна виділити наступні типи первапорації: гідрофобну первапорацію і органофільну (органоселективну) первапорацію [4].

Застосування гідрофобної первапорації широко досліджується для очищення різних стічних вод [8], видалення легколетких органічних компонентів з ґрунтової та питної води, регенерації органічних компонентів, поділу продуктів ферментації в біотехнології [4, 9].

У свою чергу органоселективна первапорація перспективна для розділення сумішей органічних компонентів. При цьому в якості об'єктів поділу вивчалися такі азеотропні суміші, як: бензол-циклогексан, метанол - метил-трет-бутиловий ефір, етанол - етил-трет-бутиловий ефір, суміші ізомерів [4, 10, 11, 12].

Відповідно до цих завдань поділу гідрофільна і органоселективна первапорація можуть бути альтернативою таким процесам, як дистиляція, ректифікація, азеотропна і екстрактивна ректифікація, екстракція і адсорбція [13]. Порівняно з цими процесами первапорація має низку переваг:

- 1) висока ефективність процесу і можливість поділу азеотропних сумішей;
- 2) безреагентність;
- 3) можливість використання низькопотенційного тепла;
- 4) енергоощадливість процесу;
- 5) компактність обладнання;

6) експлуатаційні переваги (модульність мембранних установок дозволяє простим додаванням або відключенням мембранних апаратів збільшувати або знижувати продуктивність по суміші, що розділяється; для забезпечення роботи мембранних апаратів необхідно суттєво меншу кількість основного обладнання, ніж, наприклад, у випадку ректифікаційної колони, що спрощує як управління установкою, так і її вихід на технологічний режим [14].

У свою чергу гідрофобна первапорація може бути альтернативою процесам очищення стічних вод, що містять органічні компоненти.

Очищення і рециркуляція, а також гібридні процеси є найбільш раціональними способами обробки стоків. В 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.

Для видалення органічних компонентів зі стічних вод можуть застосовуватися різні процеси. При цьому використання цих процесів зазвичай обмежується деякими діапазоном концентрацій, обумовленим технічними або економічними міркуваннями.

В діапазоні концентрації від 10 мг / л до 1% об. гідрофобна 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 він пов'язаний тільки з експоненціальним зростанням необхідної поверхні мембрани при роботі з меншими концентраціями. Ще одне обмеження застосування первапорації пов'язане з селективністю мембран, яка може не забезпечувати достатню ефективність очищення. У цьому випадку доцільно об'єднувати первапорацію з іншими процесами (гібридні процеси), що дозволяють ефективно вирішувати завдання поділу [15].

Одним з таких процесів є сорбція (від лат. *sorbeo* - вбираю) – вбирання твердим тілом або рідиною речовин з навколишнього середовища.

Процес вилучення окремого компоненту з суміші органічних рідин проводять з використанням мембранних елементів у якості «адсорбентів», виготовлених з полімерних матеріалів у вигляді коротких циліндричних трубок, що здатні вибірково поглинати окремі органічні рідини [16].

В процесі суміш органічних рідин контактує з внутрішньою і зовнішньою поверхнею адсорбенту. Компонента, що вилучається, дифундує в матеріал адсорбенту, стінка якого збільшується у розмірах (розбухає) [15].

Інтенсивність такої сорбції залежить від енергії розчинення окремих компонентів рідини в даному полімері [17]. Переважно сорбуються компоненти з мінімальною вільною енергією розчинення. Дифузія в тілі мембрани залежить від типу полімеру, компонентів вихідної суміші, параметрів процесу.

Механізм перенесення залежить від агрегатного стану вихідної суміші. У випадку з рідиною, перміат повинен розчинитися в полімерній мембрані, утворюючи при цьому розчин «полімер – органічна речовина» (перміат). Тоді як для газу характерне так зване, «сухе» проходження перміату.

В літературних джерелах [18] розглянуті деякі схеми очищення води від органічних домішок за допомогою первапорації. Автори пропонують виділяти весь комплекс органічних забруднень на одностадійній установці, чи послідовно виділяти окремі компоненти на багатостадійних установках. Слід зауважити що багатостадійне виділення органічних компонентів, є дорогим та апаратомістким процесом, який в перспективі можна було замінити комбінацією сорбції та первапорації, або користуватися одностадійною схемою виділення всіх органічних забрудників, а потім зібраний перміат розділяти на аналогічній схемі з апаратами меншого розміру.

Комбінація «сорбції та первапорації» може бути представлена наступним варіантом організації процесу: спочатку проводимо очищення води за допомогою первапорації, виділяючи певний компонент з суміші, а потім

на «сорбційних» апаратах з мембранними елементами проводимо доочищення води від цього компонента до концентрації менше гранично допустимого значення ($<N$).

Цілі та задачі

Метою даної статті є проведення експериментальних досліджень технологічних параметрів ведення процесу очистки стічної води та визначення найбільш ефективної технологічної схеми виділення органічних домішок із стічних вод.

Задачі.

1. Експериментально дослідити режими при яких відбувається інтенсифікація процесів очищення стічної води.
2. За результатами досліджень визначити ефективні схеми виділення органічних домішок.
3. Розробка гібридної схеми процесу очищення води.

Основна частина (експериментальна частина)

Для проведення дослідження процесу первапорації було використано експериментальну установку, що дозволяє варіювати способи відводу парів органічних речовин, гідродинамічні і температурні режими.

Дана установка складається з наступних основних апаратів (рис.1): кожухотрубного теплообмінника 1, в якому вихідна суміш (модельна рідина) підігрівається до необхідної температури (гарячий теплоносій – вода), мембранного апарату 2 з металевим корпусом і рубашкою для охолоджуючого теплоносія, де безпосередньо проходить процес розділення суміші – органічні компоненти відділяються від води, тим самим здійснюється процес очистки води від органічних домішок. Корпус мембранного апарату охолоджується водою із стаціонарної водопровідної мережі.

У мембранному апараті органічні домішки, що були виділені, конденсуються на стінці мембранного апарату за рахунок охолоджуючого теплоносія в рубашці, сконденсована речовина відводиться через штуцер до збірника конденсату 3.

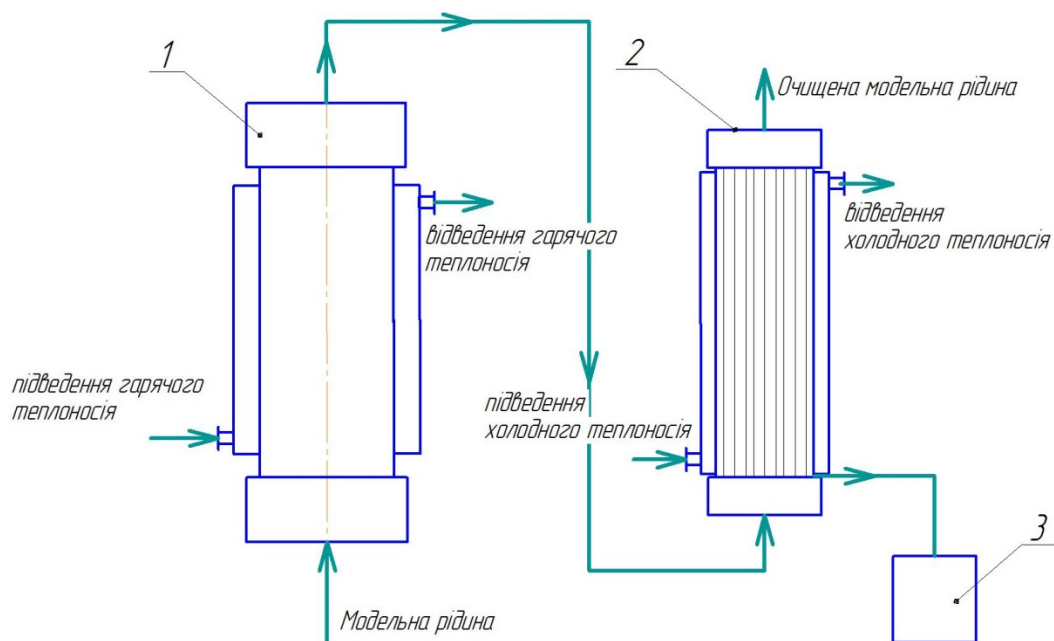


Рис. 1. Схема експериментальної установки:
1-кожухотрубний теплообмінник; 2- мембранний апарат; 3 – збірник конденсату

У якості вихідної суміші використовується вода з органічною домішкою об'ємом 2 л. Для дослідження первапорації при різних температурних режимах у воді (модельній рідині) була створена концентрація чотирьох хлористого вуглецю – 3,13 мг/л.

На експериментальній установці здійснили серію дослідів з впливу температури на ступінь очистки від органічних домішок. В експериментах використовувалася модельна рідина (суміш води з чотирьох хлористим вуглецем) при $t=60^{\circ}\text{C}$, а також при $t=20^{\circ}\text{C}$ [19, 20, 21]. Результати дослідів впливу температури суміші на кінцеву концентрацію органічного компоненту після первапораційного розділення наведено у таблиці 1.

Результати проведених досліджень доводять зменшення органічної домішки у вихідній суміші при використанні для їх виділення методу первапорації при різних температурних режимах.

Потім було проведено ряд дослідів на експериментальній установці до складу якої було включено «сорбційний» апарат, в якому в якості сорбенту використовувалися мембранні елементи (рис. 2).

Таблиця 1

Визначення концентрації органічних компонентів з часом перебування на очистці за зміни температурного режиму

Найменування органічної речовини, температурний режим	Вих. конц.	2 години	4 години	5 годин	6 годин	ГДК	Результат порівняння з ГДК
Чотирьох-хлористий вуглець	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	
1. t=20°C	3,13	2,54	2,24	2,08	1,74	0,3	>N
2. t=60°C	3,13	1,66	1,51	1,41	0,88	0,3	>N

Тобто установка складається з тих же основних апаратів: кожухотрубного теплообмінника 1, мембранного апарату 2 з металевим корпусом і рубашкою для охолоджуючого теплоносія, збірника конденсату 3 та додатково встановленого «сорбційного» апарату 4. Таким чином вода очищена на первапоративному мембранному апараті направляється на доочистку в «сорбційний» апарат з мембранними елементами.

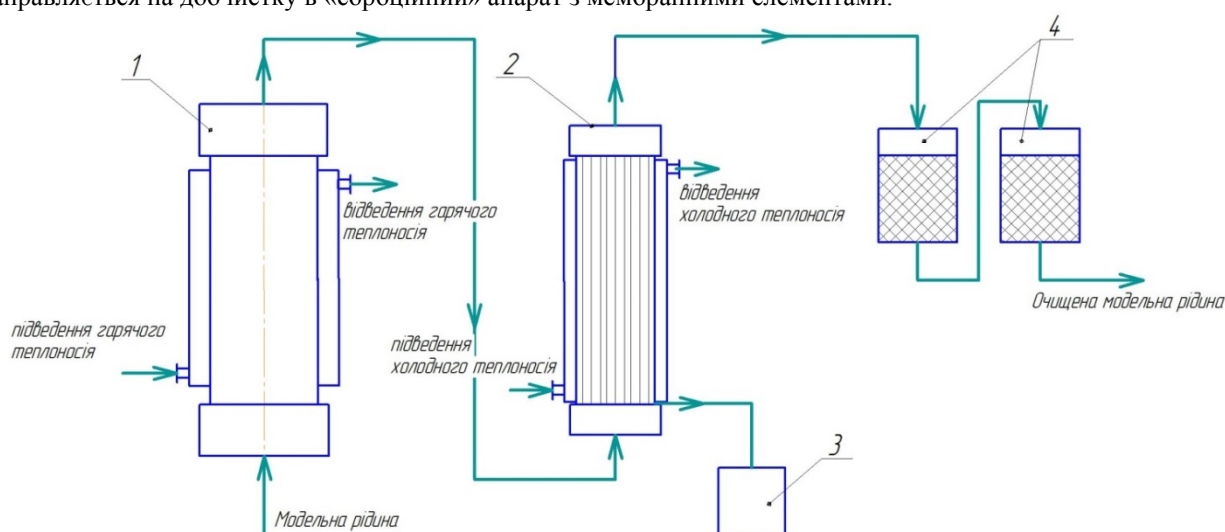


Рис. 2. Схема експериментальної установки до складу якої було включено «сорбційний» апарат : 1 – кожухотрубний теплообмінник; 2 – мембранний апарат; 3 – збірник конденсату; 4 – «сорбційний» апарат

Для дослідження цього гібридного процесу була взята модельна рідина після первапоративного розділення з вихідною концентрацією чотирьох хлористого вуглецю -1,74 мг/л (для t=20°C), і 0,88 мг/л (для t=60°C).

Результати дослідів доочистки суміші на кінцеву концентрацію органічного компоненту після застосування гібридної схеми процесу наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Визначення концентрації органічних компонентів при доочистці на «сорбційному» апараті(гібридний режим)

Найменування органічної речовини, температурний режим	Вих. конц.	7 годин	8 годин	9 годин	ГДК	Результат порівняння з ГДК
Чотирьох-хлористий вуглець	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	
1. t=20°C	1,74	1,3	0,5	0,33	0,3	>N
2. t=60°C	0,88	0,5	0,35	0,28	0,3	<N

Таким чином запропоновані експериментальні установки дозволяють прослідкувати зміну концентрації органічної речовини у модельній суміші.

Так, при підвищенні температури вихідної суміші інтенсифікувалося проходження органічних домішок через полімерну мембрану. На рисунку 3 зображено зменшення концентрації органічної домішки (чотирьох-хлористого вуглецю) при застосуванні різних температурних режимів.

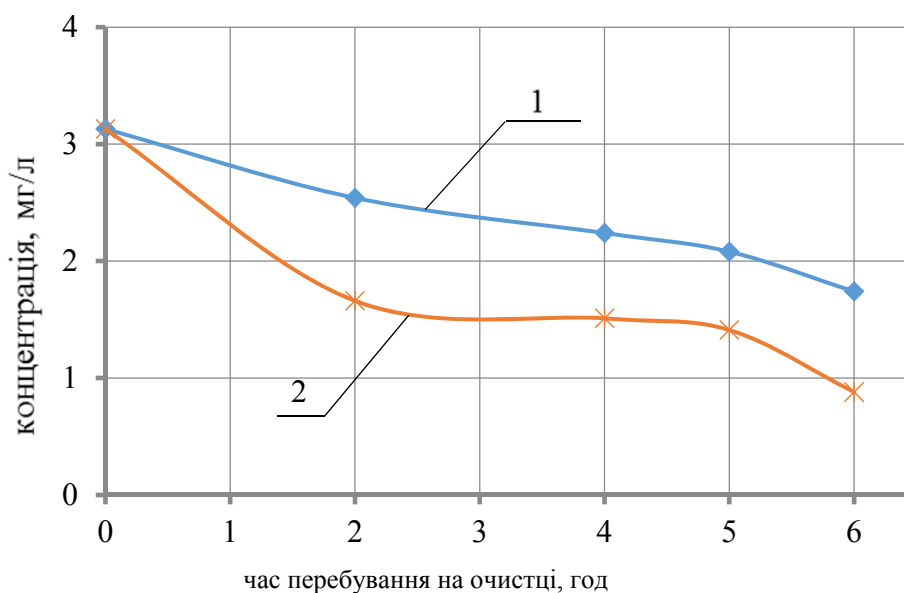


Рис. 3. Графік залежності концентрації чотирьох хлористого вуглецю в модельній рідині:
1 – при $t = 20^{\circ}C$; 2 – при $t = 60^{\circ}C$

Слід відмітити, що застосування поєднання первапорації (при різних температурах) з сорбцією мембранними елементами підвищило ефективність очищення модельної рідини від органічного компоненту практично в два рази, порівняно з використанням тільки первапорації при різних температурних режимах.

Використання гібридної схеми очистки дозволило вже на дев'ятій годині процесу досягти значення нижчого за значення гранично допустимої концентрації (ГДК).

Аналіз отриманих результатів показує значне зменшення органічної домішки у модельній рідині, що свідчить про значну ступінь очищення забрудненої води при використанні гібридної схеми очистки. Отримані результати дозволяють зауважити вплив температури на продуктивність процесу. При збільшенні температури вихідної суміші інтенсифікується проходження органічних домішок через полімерну мембрану, застосування поєднання первапорації з сорбцією на мембранних не просто сприяє інтенсифікації процесу, а дозволяє провести очищення до значень нижчих за ГДК.

Висновки

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

Аналізуючи отримані експериментальні дані, можна зробити висновок, що процес очищення інтенсифікується при збільшенні температури модельної рідини, подаваної на розділення, з до, про що свідчить графік залежності концентрації органічного компоненту від температури (рис. 3).

Наглядно бачимо, що використання гібридної схеми дозволяє доочистити модельну рідину від органічного забрудника за температур та до концентрації 0,33 мг/л та 0,28 мг/л відповідно при ГДК – 0,3 мг/л. Тобто використання поєднання первапорації при різних температурних режимах з сорбцією мембранними елементами дозволило значно підвищити ефективність очищення модельної рідини від органічного компоненту.

Проведені дослідження показали доцільність інтенсифікації процесу мембранного очищення за рахунок підвищення температури модельної рідини на вході в мембранний апарат, та при застосуванні гібридної схеми процесу.

Поєднання первапорації та сорбції мембранними елементами відкриває нові перспективи очищенні стічної води. Перевагами цієї гібридної схеми процесу є :

- 1) повна віддача поглинутих компонентів мембранними елементами, при десорбції, тобто сорбент (мембранні елементи) можна використовувати неодноразово;
- 2) стабільна продуктивність мембранних насадок.

Аннотация. В последнее время мембранные процессы разделения смесей показали свою высокую эффективность в различных отраслях промышленности. При этом применение мембранной технологии позволяет не только решать технологические задачи, но и уменьшать техногенную нагрузку на окружающую среду. В данной статье представлены экспериментальные исследования технологических параметров и режимов проведения процесса очистки, анализ которых позволяет определить эффективные схемы очистки сточных вод. Авторами предложен для более тщательной очистки воды использовать сочетание перерапорации и сорбции с использованием мембранных элементов.

Ключевые слова: перерапорация; сорбция; мембранный элемент; очистка сточных вод; органический загрязнитель; «сорбционный» аппарат; гибридная схема очистки.

Abstract. Object. Experimental studies of technological parameters of process waste water purification and identification of the most effective technological scheme selection of organic pollution from wastewater.

Design, methodology, approach. For the study of pervaporation process was used experimental unit that allows varying removal methods vapors of organic substances, hydrodynamic and temperature regimes. In the experimental unit had been done the series of experiments of the temperature effect to the purification degree of wastewater from the organic impurities. Then had been done series of experiments for determined the concentration of organic pollutants in a model liquid that after pervaporation was arrived to the "sorption" apparatus for the addition purification.

Conclusions. It was found that purification process intensifies with increase the temperature of the model liquid applying to separation. Also the combination of pervaporation at different temperature regimes with sorption membrane elements was using, which gives greatly improving efficiency of purification of the model liquid of organic component.

Research novelty / importance. Had been developed hybrid scheme of water purification which is based on a combination pervaporation with sorption membrane elements. The research has shown the feasibility of using of the hybrid schemes for wastewater treatment.

Keywords: pervaporation; sorption; membrane element; wastewater treatment; organic impurities; "sorption" apparatus; hybrid scheme of water purification.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води: Підручник [Текст] / А.К. Запольський. – К.: Вища шк., 2005. – 671 с.: іл.
2. Шапочка М. К. Основи екології і економіки природокористування. Навчально-методичні матеріали Сумського державного Університету. [Електронний ресурс] / М. К. Шапочка. – Режим доступу: <http://sumdu.telesweet.net/doc/lections/Osnovy-i-ekologii-i-ekonomiki-prirodopolzovaniya/8332/index.html>
3. Koros W.J. Terminology for membranes and membrane processes/ W.J.Koros, Y.H.Ma, T.Shimidzu // J. Membr. Sci. – 1996. - №120. – p.149-159.
4. Поляков А.М. Некоторые аспекты перерапорационного разделения жидких смесей. Часть 1(обзор)/А.М. Поляков // Серия. Критические технологии. Мембраны. – 2004. – № 4 (24). – с. 29-44.
5. Дытнерский Ю. И. Исследование гидродинамических факторов при разделении жидких смесей с помощью полимерных пленок/ Ю. И. Дытнерский, В. Н. Головин, Н. В. Кочергин, Р. Г. Кочаров, Л. И. Ильин // Тр. МХТИ им. Д. И. Менделеева., - 1966. – Т. 51 № 1. – с. 39-42.
6. Эльберт А. А. Влияние условий отвода паров, проникших через пленку, и физических свойств компонентов смеси на коэффициент разделения двойных смесей углеводородов/А.А. Эльберт, Ю.И. Дытнерский, Н.Ф. Кононов // Журн. прикл. хим. – Т. 41. №10. – с. 2240-2243.
7. Эльберт А. А. Влияние свойств компонентов жидких однородных смесей на скорость и селективность их разделения с помощью полиэтиленовых пленок/ А.А. Эльберт, Ю.И. Дытнерский, Н.Ф. Кононов // Журн. прикл. хим. – 1968. – Т.41 №8 – с. 1790 -1795.
8. Oliveira T.A.C. Pervaporation-biological oxidation hybrid process for removal of volatile organic compounds from wastewaters/ T.A.C. Oliveira, J.T. Scarpello, A.G. Livingston // J. Membr. Sci. – 2002. – V.195. – p. 75-88.
9. Lipnizki F. Use of Pervaporation-Bioreactor Hybrid Processes in Biotechnology./ F. Lipnizki, S. Hausmanns, G. Laufenberg, R. Field, B.Kunz // Chem. Eng. Tech. – 2000. – V.23 №7. – p.569-577.
10. Garcia Villaluenga J.P. A review on the separation of benzene/cyclohexane mixtures by pervaporation processes./ J.P. Garcia Villaluenga, A. Tabe-Mohammadi // J. Membr. Sci. – 2000. –V.169 №1. – p. 159-164.
11. Flanders C. L. Separation of C6 isomers by vapor permeation and pervaporation through ZSM-5 membranes/ C. L. Flanders, V. A. Tuan, R. D. Noble, J. L. Falconer, // J. Membr. Sci. – 2000. –V.176 №1. – p. 43-49.
12. Luo G.S. Separation of ethyl tert-butyl ether-ethanol by combined pervaporation and distillation./ G. S. Luo, M. Niang, P. Schaetzel // Chem. Eng. J. – 1997. – v.68, № 1. – p. 139 – 143.
13. Huang R.Y.M. Pervaporation Membrane Separation Processes/ R.Y.M. Huang // Elsevier, Amsterdam. – 1991. – p.479.
14. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию/ под редакцией Ю.И. Дытнерского. – Москва: Химия., 1991. – 496 с.
15. Tanihara N. Pervaporation of organic liquid mixtures through membranes of polyimides containing methyl-substituted phenylenediamine moieties./ N.Tanihara, K. Tanaka, H. Kita, K.Okamoto //J.Membr. Sci. – 1994. – v.95, № 1. – p. 161 -169.
16. Буртная, И.А. Исследование выделения органических примесей из сточных вод с использованием мембранных технологий [Текст] / Буртная И.А., Литвиненко Д.В. // Mateliały IV Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji "Nauka i inowacja - 2008", - 2008. Тум 10. Rolnictwo. Ekologia. Geografia i geologia.: Przemysl. Nauka i studia – 41 str.
17. Буртная, И.А. Процеси переносу в полімерних мембранах. Частина 1 [Текст] / И. Буртная, Л. Ружинская, О. Гачечиладзе, Н. Шафаренко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. – Т. 1, № 6 (61). – С. 4-6.

18. Буртная, И. А. Мембранная технология очистки воды от нефтепродуктов [Текст] / И. А. Буртная, О. О. Гачечиладзе, Д.В. Литвиненко, Н.В. Шафаренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2011. – Т.6, № 8 (54). – С. 50–52.
19. Буртная И.А. Исследование очистки сточных вод от органических веществ с использованием мембранной технологии [Текст] / Буртная И.А., Литвиненко Д.В. // Материали за 4-а международна научна практична конференция «Бъдещето проблемите на световната наука», - 2008. - Том 20. Екология. Селско стопанство. Ветеринарна наука. София. «Бял ГРАД-БГ» ООД – с.19-22.
20. Буртна, I.A. Мембранні технології очищення промислових стоків від органічних компонентів [Текст] / Буртная И.А., Литвиненко Д.В. // Материали за 5-а международна научна практична конференция «Бъдещето проблемите на световната наука», - 2009. - Том 23. Екология. География и геология. Селско стопанство. Ветеринарна наука. София. «Бял ГРАД-БГ» ООД – с.30-32.
21. Буртная И.А. Исследование выделения органических веществ из сточных вод с использованием первапорационного мембранного аппарата [Текст] / Буртная И.А., Ружинская Л.И., Литвиненко Д.В. // Материали за 3-а международна научна практична конференция «Умение и нововведения», - 2007. - Том 13. Лекарство. Ветеринарна наука. Химия и химически технологии. Екология. Селско стопанство. София. «Бял ГРАД-БГ» ООД – с.56-58.

References

1. Zapol's'kij A.K. Vodopostachannja, vodovidvedennja ta jakist' vodi: Pidruchnik [Water supply, sanitation and quality of water]. Kyiv: Vishha shk., 2005. P. 671.,il.
2. Shapochka M. K. Osnovi ekologii i ekonomiki prirodokoristuvannja. Navchal'no-metodichni materiali Sums'kogo derzhavnogo Universitetu. available at: <http://sumdu.telesweet.net/doc/lections/Osnovy-ekologii-i-ekonomiki-prirodopolzovaniya/8332/index.html>
3. Koros W.J., Ma Y.H., Shimidzu T., Journal of Membrane Science., 1996, no 120, p. 149-159.
4. Poljakov A.M., Serija. Kriticheskie tehnologii. Membrany., 2004, no 4 (24), p. 29-44.
5. Dytner'skij Ju. I., Golovin V. N., Kochergin N. V., Kocharov R. G., Il'in L. I., Tr. MHTI im. D. I. Mendeleeva., 1966, 51 no 1, p. 39-42.
6. Jel'bert A. A., Dytner'skij Ju.I., Kononov N.F., Zhurn. prikl. him., 1968, V. 41. No 10, p. 2240-2243.
7. Jel'bert A. A., Dytner'skij Ju.I., Kononov N.F. Zhurn. prikl. him., 1968, V. 41 no 8, p. 1790 -1795.
8. Oliveira T.A.C., Scarpello J.T., Livingston A.G. Journal of Membrane Science., 2002, V.195, p. 75-88.
9. Lipnizki F., Hausmanns S., Laufenberg G., Field R.,Kunz B., Chemical Engineering & Technology., 2000, V. 23 no 7. p. 569-577.
10. Garcia Villaluenga J.P., Tabe-Mohammadi A., Journal of Membrane Science., 2000, V.169 no 1, p. 159-164.
11. Flanders C. L., Tuan V. A., Noble R. D., Falconer J. L., Journal of Membrane Science., 2000, V.176 no 1, p. 43-49.
12. Luo G.S., Niang M., Schaetzel P., Chemical Engineering Journal., 1997, v.68, no 1, p. 139 – 143.
13. Huang R.Y.M. Pervaporation Membrane Separation Processes.Elsevier, Amsterdam., 1991, p. 479.
14. Osnovnye processy i apparaty himicheskoj tehnologii: posobie po proektirovaniju [Basic processes and chemical technology apparatuses: posoby on designing],Moscow: Himija., 1991, p.496.
15. Tanihara N.,Tanaka K., Kita H., Okamoto K., Journal of Membrane Science., 1994, v.95, no 1, p. 161 -169.
16. Burtnaja I.A., Litvinenko D.V. Mateliaty IV Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji “Nauka i inowacja. 2008” (Materials IV International scientific-practical conference "Science and Innovation 2008"), Przemysl, 2008, p. 41.
17. Burtnaja, I.A., Ruzhinskaja L., Gachechiladze O., Shafarenko N., Shidno-Evropskij zhurnal peredovih tehnologij, 2013, T. 1, no 6 (61), p. 4-6.
18. Burtnaja, I. A.,Gachechiladze O.O., Litvinenko D.V., Shafarenko N.V.,Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij, 2011, T. 6, no 8 (54), p. 50–52.
19. Burtnaja I.A., Litvinenko D.V., Materiali za 4-a mezhdunarodna nauchna praktichna konferencija «Bdesheto problemite na svetovната наука» (Materials 4th International Scientific Conference "Future problems of world science"), Sofia, 2008, p. 19-22.
20. Burtnaja I.A., Litvinenko D.V., Materiali za 5-a mezhdunarodna nauchna praktichna konferencija «Bdesheto problemite na svetovната наука» (Materials 5th International Scientific Conference "Future problems of world science"), Sofia, 2009, p. 30-32.
21. Burtnaja I.A., Ruzhinskaja L.I., Litvinenko D.V.,Materiali za 3-a mezhdunarodna nauchna praktichna konferencija «Umenie i novovvedenija» (Materials 3rd international scientific conference "knowledge and innovation"), Sofia, 2007, p. 56-58.

Подана до редакції 19.05.2015