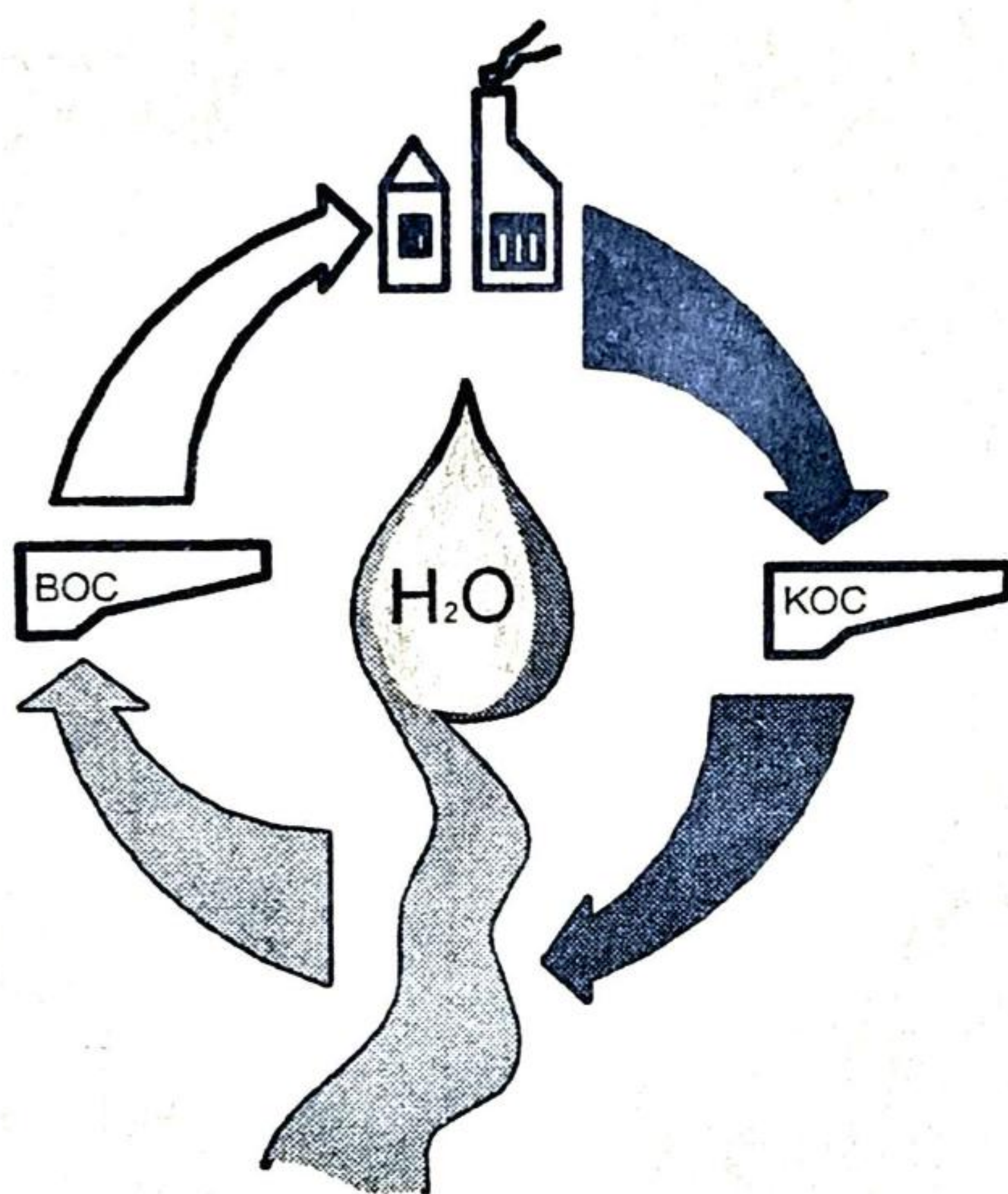


ПРОБЛЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ, ВОДОВІДВЕДЕННЯ ТА ГІДРАВЛІКИ



Науково-технічний збірник
Випуск 11

Київ 2008

ВОДОПОСТАЧАННЯ	4
Терновцев В.О. Покращення очистки води поверхневих джерел в умовах підвищеного антропогенного навантаження.....	4
Кравченко М.В., Гапула О.В., Заграй Я.М. Баромембранні процеси при підготовці питної води (аналіз гіпотез і механізмів).....	12
Новохатній В.Г., Матяш О.В. Порівняльний аналіз розрахункових витрат води в розгалужених водопровідних мережах.....	25
Шкавро З.М., Кочкодан В.М., Тугай Я.М. Використання коагулянтів та адсорбентів для стабілізації технологічних параметрів процесу ультрафільтрації.....	35
Гуринчик Н.А. Исследования математической модели работы скорых фильтров с падающей производительностью.....	44
Яців М.Ю. Комплексна оцінка якості води р.Прут.....	52
ВОДОВІДВЕДЕННЯ	65
Таварткіладзе І.М., Нечипор О.М. Установка и технология очистки сточных вод «ИМТЕХ».....	65
Таварткіладзе І.М., Булика О.В. Визначення впливу тиску на швидкість розчинення кисню.....	74
Злобіна В.С. Графоаналітична база управління роботою водоочисного комплексу. 1. Модель процесу знежирення стічних вод маргаринового виробництва.....	79
Копаниця Ю.Д. Моделювання роботи і розрахунок пневматичного регулятора напірних гідроциклонів в мережі Інтернет.....	85
Аргатенко Т.В., Малько В.Ф. Контроль рівня води в сатураторі системи напірної флотації.....	91
Степаненко О.А. Вплив методу аерації на стабілізацію суміші осаду і активного мулу.....	96
ГІДРАВЛІКА	103
Поляков В.Л. Фильтрование суспензий через зернистые загрузки при переменной концентрации взвеси.....	103
Поляков В.Л., Желизко В.В. Напорная фильтрация к совершенной дрене в несущем грунте.....	112
Телима С.В. Теоретичне обґрунтування процесів водо- і масообміну в насичено-ненасиченому середовищі для умов неглибокого залягання ґрунтових вод.....	128
Воскобойник А.В., Воскобойник В.А., Воскобойник А.А. Сопряженное обтекание модели мостовой трех рядной свайной опоры на жесткой плоской поверхности.....	137
ПРАКТИЧНИЙ ДОСВІД	149
Безпалько Н.О., Юдина Е.Э. KAN-THERM – технология успеха.....	149

М.В. КРАВЧЕНКО, аспірантка

О.В. ГАПУЛА, ст. наук. співробітник

Я.М. ЗАГРАЙ, доктор хімічних наук

Київський національний університет будівництва і архітектури

БАРОМЕМБРАННІ ПРОЦЕСИ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ПИТНОЇ ВОДИ (АНАЛІЗ ГІПОТЕЗ І МЕХАНІЗМІВ)

Проаналізовано умови очистки води з використанням баромембранних методів. Представлені дані про склад води різних джерел водопостачання з урахуванням застосування одного з основних методів очистки – зворотного осмосу. Обґрунтовано механізми і гіпотези з проблем процесів в системі «мембрана-вода».

Забезпечення розвитку суспільства в умовах вимог парадигми сталого розвитку вимагає, в першу чергу, екобезпеки життєдіяльності людини. З іншого боку, науково-технічний прогрес, який забезпечує розвиток продуктивних сил суспільства і держави, створює передумови негативного впливу на стан здоров'я людини внаслідок забруднення екологічних, біологічних і геотехнічних систем та навколишнього природного середовища в цілому. Виникає нагальна необхідність вирішення проблем, пов'язаних із захистом навколишнього природного середовища, раціонального використання природних та промислових ресурсів, а особливо проблем, пов'язаних з необхідністю створення екобезпечних умов для функціонування еко- і біосистем та життєдіяльності людини. А одним із найважливіших і актуальних аспектів сьогодення постає проблема забезпечення населення питною водою нормативної якості.

Вибір методів підготовки води заданої якості залежить, зокрема, від загальної мінералізації води.

Загальна мінералізація являє собою сумарний кількісний показник вмісту розчинених у воді речовин. Цей параметр також називають загальним солевмістом, оскільки розчинені у воді речовини знаходяться саме у вигляді солей.

В таблиці 1 та 2 наведені показники хімічного складу деяких природних та підземних вод [1-3].

Розглянемо вплив найбільш поширених у воді компонентів на організм людини.

Хімічний склад деяких підземних вод

Джерело водопостачання	Юрський горизонт (м.Київ)	Сенотамський горизонт	Бювет м.Київ, вул.Освіти	Бювет Червонозоряний	Бабин, Рівненська обл. С. №2	С. №3	С. №4	С. №5
Мінералізація, мг/л	340...1000	220...500	356,2	351,45	300...520	170...520	250...335	292...387
Na ⁺ +K ⁺ , мг/л	34...64	12...85	30,13	9,9	98...106	105...151	63...88	71...84
Mg ²⁺ , мг-екв/л	0,98...1,89	0,82...3,87	2,9	2,9	0,5...0,8	0,2...1,2	1,2...1,92	0,9...1,6
Ca ²⁺ , мг-екв/л	2,99...5,24	2,49...4,0	2,7	3,59	0,8...1,16	0,5...1,1	1,7...2,2	1,8...2,0
Cl ⁻ , мг/л	10...350	2...60	21,0	5,68	12...19	5...18	5...25	5,5...
SO ₄ ²⁻ , мг/л	5...490	2...17	34,4	22,4	10...32	12...31	13...27	14...25
HCO ₃ ⁻ , мг-екв/л	4...6,3	3,9...8,5	5,8	6,2	4,8...5,4	4,8...5,4	4,5...5,6	4,9...5,6
Жорсткість, мг-екв/л	3,97...7,13	3,31...7,87	5,6	6,5	1,3...1,96	0,7...2,3	3,0...4,12	2,7...3,6
NO ₃ ⁻ , мг/л	0...2,1	0...0,57	0		0,87	0,3	0,4	н/з
Fe ²⁺ , мг/л	0,02...0,2	0,06...0,29	0,098		0,2...0,55	0,1...0,88	0,5...0,83	0,33...1,44
Mn ²⁺ , мг/л	0...0,061	0...0,05	0,175		0,15	0,1	0,25	0,1
Zn ²⁺ , мг/л	0,025	0,025						
Cu ²⁺ , мг/л	0,005...0,016	0,0025...0,0045						
SiO ₃ ²⁻ , мг/л	0,7	0,3						
F ⁻ , мг/л	0,23...0,6	0...0,16						

Таблиця 2

Хімічний склад деяких природних вод

Джерело водопостачання	Мінералізація, г/кг	Na ⁺ +K ⁺ мг/л	Mg ²⁺ мг/л	Ca ²⁺ мг/л	Cl ⁻ мг/л	SO ₄ ²⁻ мг/л	HCO ₃ ⁻ мг/л	Жорсткість, мг-екв/л
Вода океану, г/кг		11,104	1,298	0,417	19,337	2,705	0,097	
Азовське море	12,0-14,0	4120	390,4	178,5	5675	2816	256,7	41,0
Чорне море	17,47-18,00	5521	648,1	246,4	9629,4	1305		
Річки	Мінералізація, г/кг	Na ⁺ +K ⁺ мг/л	Mg ²⁺ мг/л	Ca ²⁺ мг/л	Cl ⁻ +Br ⁻ мг/л	SO ₄ ²⁻ мг/л	HCO ₃ ⁻ мг/л	Жорсткість, мг-екв/л
Дніпро	287,7	2,3	12,1	55,7	9,4	13,2	195,2	3,75
Десна	330,9	8,7	7,7	64,0	3,9	14,1	231,8	3,82
Сіверський Донець	820,4	116,3	17,9	114,0	171,5	163,0	246,4	7,16
Нева	48,0	3,8	1,2	8,0	3,8	4,5	27,5	0,41
Пд. Буг	397,0-405,0	12,5	18,7	63,8	9,8	24,5	268,4	4,72
Волга	458,0	-	22,3	80,4	19,9	112,3	210,2	6,5
Москва	358,5	23,0	14,2	61,5	2,3	5,6	250,7	4,24

- Залізо, як правило, присутнє у природних водах в різних формах:
- двовалентні іони заліза, розчинні у воді (Fe^{2+});
 - тривалентні іони заліза, розчинні лише в дуже кислих водах (Fe^{3+});
 - нерозчинний гідроксид тривалентного заліза $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$;
 - оксид тривалентного заліза (Fe_2O_3), присутній у вигляді часток ржі із труб;
 - в комбінації з органічними сполуками чи залізистими бактеріями.

Присутність заліза у воді вкрай небажана. Надлишкове залізо накопичується в організмі людини і руйнує печінку, імунну систему, збільшує ризик інфаркту.

Марганець зазвичай знаходять у воді, що містить залізо. Хімічно його можна вважати спорідненим залізу, оскільки він зустрічається в таких же сполуках. Марганець найчастіше присутній у воді у вигляді гідрокарбонату чи гідрооксиду, рідше він міститься у вигляді сульфату.

Надлишок марганцю небезпечний: його накопичення в організмі може призвести до тяжкого захворювання – хвороби Паркінсона.

Фтор, присутність якого у воді може бути як корисною, так і шкідливою, в залежності від концентрації. Дослідження показали, що концентрація фтору у питній воді близько 1 мг/л зменшує можливість виникнення карієсу. Концентрація фтору більше 4 мг/л може бути причиною серйозного захворювання кістково-опорного апарату людини.

Натрій, солі якого присутні у всій природній воді, хоча і не утворюють ні накипу при кип'ятінні, ні осаду в суміші з милом, але їх високі концентрації посилюють корозійну дію води і можуть надавати їй неприємного присмаку.

Ґрунт містить певну кількість природних нітратів, яка коливається в широких діапазонах. Наявність у воді нітратів вказує на те, що вона забруднена органічними речовинами. Навіть незначна концентрація нітратів 10-20 мг/л, може викликати серйозні захворювання у дітей; відомі навіть випадки летальних наслідків.

Майже вся природна вода містить хлориди і сульфати. Низькі і помірні концентрації цих іонів надають воді приємного смаку і їх присутність бажана. Надлишкові ж концентрації можуть зробити воду неприємною на смак. Як хлориди, так і сульфати вносять свій вклад в загальний вміст у воді мінеральних речовин. Надмірні концентрації цих речовин можуть здійснювати різноманітний вплив – від надання воді підвищеної жорсткості до електрохімічної корозії. Вода, що містить більш ніж 250 мг/л сульфатів, набуває яскраво вираженого «медичного присмаку». В надлишковій концентрації сульфати можуть також діяти як проносне.

Рівень вмісту солей у питній воді різний в різних геологічних регіонах (внаслідок різної розчинності мінералів). Крім природних факторів на загальну мінералізацію води значно впливає діяльність людини (скид промислових стічних вод, що містять різні хімічні сполуки, в тому числі солі важких металів, а також змив з полів пестицидів, добрив і т.п.).

В такій ситуації міжнародні організації і уряди багатьох країн вимушені посилювати вимоги до якості стічних вод і здійснювати суворий контроль якості питної води, що призводить до збільшення вартості питної води для населення і технічної води для промислових підприємств.

В таблиці 3 наведені порівняльні дані показників якості питної води за ГОСТ 2874-82 та ДержСанПіН-97 [4, 5].

Таблиця 3

Порівняльні показники якості питної води

№	Найменування показників	ГОСТ 2874-82	ДСанПіН-97
1.	Запах	<2	2 ПР*
2.	Каламутність	<1,5 мг/л	0,5 (1,5) НОМ**
3.	Кольоровість	<20 град.	20 (35) *** град.
4.	Присмак	<2	2 ПР*
5.	рН	6-9	6,5...8,5
6.	Сухий залишок	<1000 мг/л	1000 (1500) *** мг/л
7.	Жорсткість загальна	<7 мг-екв/л	7 (10) *** мг-екв/л
8.	Магній	-	10,0...80,0
9.	Сульфати	<500 мг/л	250 мг/л
10.	Хлориди	<350 мг/л	250 мг/л
11.	Мідь	<1 мг/л	1,0 мг/л
12.	Марганець	<0,1 мг/л	0,1 мг/л
13.	Залізо	<0,3 мг/л	0,3 мг/л
14.	Алюміній	<0,5 мг/л	0,2 (0,5) *** мг/л
15.	Фтор	<1,5 мг/л	0,7...1,5 мг/л
16.	Нітрати	<45 мг/л	<45 мг/л
17.	Барій	<0,1 мг/л	<0,1 мг/л
18.	Миш'як	0,05 мг/л	0,01 мг/л
19.	Селен	<0,01 мг/л	0,01 мг/л
20.	Свинець	<0,03 мг/л	0,01 мг/л
21.	Нікель	<0,1 мг/л	0,1 мг/л
22.	Хлороформ	<0,06 мг/л	0,06 мг/л

ПР* – показник розведення (до зникнення запаху, присмаку);

НОМ** – нефелометричні одиниці каламутності;

*** – величина, зазначена в дужках, допускається з урахуванням конкретної ситуації.

В останні роки одними з найбільш універсальних і перспективних стали баромембранні методи очистки води, для реалізації яких обов'язковою наявністю тиску і напівпроникної мембрани.

Процеси очистки, розділення рідких та газоподібних речовин відіграють важливу роль у багатьох галузях промисловості та життєдіяльності людини. Природа в процесі еволюції живих організмів виробила найбільш універсальний і досконалий метод розділення і очистки речовин з використанням напівпроникних мембран. Саме такі мембрани забезпечують перенесення необхідних організму речовин як із зовнішнього середовища в клітин, так і навпаки. Без мембран неможливе було б дихання, кровотворення, синтез білка, засвоєння харчів, видалення відходів тощо. Завжди з давніх часів вчені приділяли увагу неперевершеним властивостям напівпроникних мембран – пропускати одні речовини і затримувати інші, що було покладено в основу розвитку мембранної технології і апаратури та створенню відповідних мембран і фільтраційних матеріалів.

До основних мембранних методів розділення та очистки речовин відносяться: зворотний осмос, нано-, ультра-, мікрофільтрація.

За ефективністю очистки мембранні системи не мають собі рівних: рівень вилучення сягає практично 97...99,9 % для будь-якого з різновидів забруднень.

Серед технологічних стадій підготовки питної води на першому місці стоїть процес мікрофільтрації, за допомогою якого з води видаляються крупні колоїдні частинки розмірами 0,02...10 мкм.

Процес мікрофільтрації проходить під дією різниці тисків по обидва боки мікрофільтра. Мікрофільтрацію проводять при порівняно малих робочих тисках (рівня десятих і сотих долей МПа). Цей процес широко застосовується для концентрування тонких суспензій, освітлення різних розчинів, очистки стічних і природних вод. Застосування мікрофільтрації ефективне для підготовки рідин перед проведенням процесів зворотного осмосу і ультрафільтрації [6, 7].

Ультрафільтрація – процес мембранного розділення розчинів високомолекулярних і низькомолекулярних сполук, а також фракціонування і концентрування високомолекулярних сполук. Розмір частинок, що розділюються ультрафільтрацією становить близько 0,001...0,02 мкм.

Ультрафільтрацію, на відміну від зворотного осмосу, використовують для розділення систем, в яких молекулярна маса розчинених компонентів набагато більша молекулярної маси розчинника.

Проводять цей процес при тисках 0,1...0,5 МПа.

Механізм розділення ультрафільтрацією представлений в гіпотезі ультрафільтрації або просіювання, у відповідності з якою в мембрані існують пори, розміри яких достатні для того, щоб пропускати молекули розчинника, але занадто малі, щоб пропускати молекули або іони розчинених речовин.

Головне протиріччя при перенесенні гіпотези просіювання, справедливої для ультрафільтрації, на процес зворотного осмосу в тому, що діаметр пор мембрани, що діє за механізмом просіювання, повинен складати доли нм (тобто декілька ангстрем): наприклад, для розділення розчину

«NaCl – вода» 0,25...0,45 нм або 2,5...4,5 Å. Проте, відомо, що амплітуда теплових коливань макромолекул полімерів має той же порядок і тому досить тонкі капіляри в полімерних мембранах не можуть стійко існувати. Їх поява можлива лише в результаті теплових флуктуацій щільності полімеру і повинна носити ймовірний характер.

Гіпотеза ультрафільтрації не повністю підтверджена експериментально і не включає параметрів, що характеризують процес зворотного осмосу [6, 7].

Нанофільтрація – баромембранний процес, що застосовується для отримання особливо чистої води, очищеної від бактерій, вірусів, мікроорганізмів, колоїдних часток органічних сполук, молекул солей важких металів, нітратів, нітритів та інших шкідливих домішок.

Нанофільтраційні мембрани, як правило, мають розміри пор від 0,002 до 0,001 мкм. Проводять цей процес, як і ультрафільтрацію, при тиску 0,2...1,0 МПа.

Нанофільтраційні мембрани, які демонструють достатньо високий ступінь затримки (~70%) солей при знесолюванні розчинів з концентрацією ~40 кг/м³, не мають іоногенних груп у розділювальному шарі і у даному випадку представляються найбільш суттєвим структурним механізмом затримки солей [8]. Порівняно високий потік пермеату, що притаманний таким мембранам при відносно низьких тисках, пов'язаний з досить крихкою структурою ультратонких розділювальних шарів.

Основною відмінною особливістю нанофільтраційних мембран [9,10] поряд з їх відносно невисоким гідравлічним опором є різна затримка одно- та полізарядних іонів, що відкриває принципову можливість вибіркового розділення багатокомпонентних розчинів.

На ранній стадії вивчення процесів зворотного осмосу результати дослідження вибіркової затримки іонів напівпроникними мембранами лягли в основу опису механізму цих процесів. Основна увага при цьому була приділена розробці селективних до різних іонів напівпроникних мембран, а не мембран з максимальною вибірковою дією до цих іонів і, як наслідок, на даний час не існує достатньо переконливих критеріїв розробки напівпроникних мембран з високою вибірковою здатністю.

В той же час, розроблені декілька способів надання ультрафільтраційним мембранам селективності до полізарядних іонів [11-13]. Ультрафільтраційна мембрана УАП-100, яка практично не затримує однозарядні іони, під впливом тиску 6 МПа зазнає значного стиснення і досить ефективно затримує полізарядні іони і за показниками розділення розчинів солей є близькою до типових нанофільтраційних мембран. При розділенні сумішей електролітів CaCl₂/NaCl на опресованій ультрафільтраційній мембрані додавання CaCl₂ різко знижує затримку іонів Na⁺ при одночасному збільшенні затримки Ca²⁺, що відповідає вторинному ефекту Доннана.

Роботи з модифікування УФ мембран спрямовані, перш за все, на створення заряджених мембран [11], а також на зміну гідрофільності поверхні пор [14]. У ряді випадків були одержані мембрани, близькі за транспортними властивостями до нанофільтраційних мембран.

Нанофільтраційні мембрани створені, в першу чергу, для практичних потреб – баромембранного очищення природних вод при низькому тиску [15], що забезпечує зниження колірності, вмісту високомолекулярних органічних речовин, колоїдних часток, солей жорсткості до ГДК при низьких затратах енергії.

Оскільки основною областю використання процесів нанофільтрації в сучасних умовах є зниження жорсткості природних вод, тому інколи для нанофільтраційних мембран використовують назву «мембрани для пом'якшення води». Створений ряд НФ мембран з різних матеріалів, які дозволяють ефективно знижувати жорсткість води. Так, у Флориді (США) з 1980 року працює одна з таких установок, в якій використовуються спеціально створені мембрани з діацетату целюлози, що експлуатуються при тиску в 1,4 МПа і знижують жорсткість води до санітарних норм при затриманні NaCl на 47 % [16]. В роботі [17] наведені дані, які свідчать, що нанофільтрація здатна забезпечити заміну коагуляції та фільтрації води. За допомогою НФ мембран серії NF можна знизити колірність води із загальним вмістом розчинених речовин до 1000 г/м³ на 98%, загальний органічний вуглець на 84% і сульфат-іони на 96%.

В роботах [18,19] наведені приклади використання нанофільтрації для очищення природних вод, які характеризуються підвищеним вмістом органічних речовин; показано, що ефекти по зниженню загального вмісту речовин, які утворюють гомогеннопохідні органічних сполук, тригалогенметани та колірність, становлять, відповідно, 93%, 95%, 91%. При цьому сульфат-іони затримуються на 100%, іони натрію та заліза, відповідно, на 64% і 87%, а солі жорсткості на 89%.

Нанофільтрацією досягається високий ступінь очищення річкової води від пестицидів та інших органічних речовин.

Широко використовуються НФ мембрани для поліпшення якості питної води [20-23]. Ця проблема особливо загострилась в останні роки у зв'язку із надмірним забрудненням водних об'єктів і джерел водопостачання. Використання нанофільтрації дозволяє отримати фізіологічно повноцінну питну воду із солевмістом, який відповідає біологічним потребам людини.

При цьому слід звернути особливу увагу на підбір і розробку, створення та виробництво НФ мембран, необхідних для очищення вод різних джерел водопостачання.

Оскільки НФ мембрани мають підвищений коефіцієнт затримки полізарядних іонів, то необхідно використовувати такі мембрани, які б не знижували до рівня нижче нормативного вмісту у питній воді корисних іонів, зокрема, Ca²⁺. Якщо використовуються НФ мембрани, що затримують іони

Ca^{2+} до значень нижче нормативних показників, то у цьому випадку воду після нанофільтрації необхідно піддавати кондиціюванню, наприклад, шляхом пропускання її через фільтр із мармуровим завантаженням.

При знезаражуванні питної води хлором можуть утворюватись канцерогенні хлорорганічні сполуки [23], зокрема хлороформ, які при вживанні з водою збільшують ризик онкологічних захворювань. Отже виникає потреба у доочищенні хлорованої питної води від цих сполук. В роботі [19] показано, що доочищення хлорованої питної води нанофільтрацією забезпечує їй необхідну якість.

З постійним удосконаленням НФ мембран зростає і продуктивність очисних установок. Так, для забезпечення питною водою жителів двох островів в Шотландії споруджена нанофільтраційна установка продуктивністю $550 \text{ м}^3/\text{добу}$ [24]. Установка складається з трьох напірних механічних фільтрів і 16 нанофільтраційних рулонних модулів та забезпечує очищення води від колірності, органічних речовин і солей. Триступенева нанофільтраційна установка продуктивністю $300 \text{ м}^3/\text{год}$ для очищення питної води функціонує у м. Амстердам (Нідерланди). До складу комплексу входять вузли попередньої підготовки води та 6 нанофільтраційних модулів, що дозволяє очищати воду до норм питного водопостачання.

Водоочисна станція пропускною спроможністю близько $340000 \text{ м}^3/\text{добу}$ у передмісті Парижу [24] для підготовки питної води включає вузли коагулювання, фільтрування, піщаний і патронний фільтри, двоступеневу нанофільтраційну відгонку вуглекислого газу та хлорування. Установка забезпечує зниження лужності води від 190 до 50 г/м^3 .

Аналіз наукових публікацій з нанофільтрації показує, що інтенсивний розвиток нанофільтраційних процесів відбувається останнім часом переважно з економічних міркувань внаслідок того, що нанофільтрація у порівнянні із зворотним осмосом, здійснюється при значно менших тисках.

Нанофільтраційні мембрани і процеси в основному використовують для очищення поверхневих і підземних вод від органічних речовин і полізарядних іонів солей. Суттєвим недоліком НФ мембран є низький коефіцієнт затримки однозарядних іонів солей. Саме з цієї причини НФ мембрани не використовують, наприклад, для знесолення морської води.

Для більш ефективного і широкомасштабного використання нанофільтраційних процесів в якості першочергових виникають наступні задачі:

- підвищення коефіцієнту затримки іонів існуючими нанофільтраційними мембранами;
- розробка, синтез і виробництво нових нанофільтраційних мембран, зокрема полімерних, із заданими властивостями;
- розробка і створення методів регулювання фізико-хімічних та колоїдно-хімічних властивостей мембран і їх структур.

Процес зворотного осмосу вважається в наш час найбільш доцільним із баромембранних процесів, оскільки дозволяє видаляти не лише солі та інші речовини, що знаходяться в іонізованому стані, але також і органічні речовини, колоїди, бактерії, віруси.

Механізм розділення зворотним осмосом досліджений більш досконало, ніж для ультрафільтрації і представлений декількома гіпотезами і моделями.

Гіпотеза молекулярної дифузії

Основним доказом формування дифузійного потоку вважають наявність розділяючої дії, яку в даному випадку пояснюють неоднаковою розчинністю складових потоку в полімерній мембрані і різницею в значеннях коефіцієнтів дифузії розділюваних компонентів.

Слід відзначити, що дифузійні процеси, рушійною силою яких є різниця потенціалів, характеризуються порівняно невеликою швидкістю при значно вищих швидкостях проникнення для зворотного осмосу.

Ця гіпотеза експериментально підтверджена не повністю [7].

Гіпотеза від'ємної адсорбції

Згідно цієї гіпотези на поверхні мембрани, зануреної у водний розчин електроліту, внаслідок від'ємної адсорбції виникає шар чистого розчинника. Товщина шару залежить від фізичної природи контактуючих середовищ і концентрації розчину.

Важливим наслідком гіпотези являється збільшення проникності і селективності мембрани при підвищенні робочого тиску і їх пониження при підвищенні концентрації розчину.

Представлена гіпотеза в принципі придатна для органічних і неорганічних речовин у водних і неводних розчинах [7].

Не дивлячись на часткове підтвердження експериментальним матеріалом, розглянуті гіпотези мають ряд недоліків, головним із яких є їх неповний характер. Наприклад, вони не можуть пояснити розділення мембраною органічних розчинених речовин, які не дисоційовані на іони.

На основі цих гіпотез важко зробити які-небудь висновки про вплив зовнішніх факторів на процес зворотного осмосу, реалізувати шляхи виготовлення нових мембран.

Таким чином, ні одна із розглянутих вище гіпотез механізму селективної проникності не пояснює повністю експериментальні дані по розділенню розчинів зворотним осмосом.

При теоретичному розгляді масопереносу через зворотноосмотичні мембрани використовують ще і термодинамічний (формальний) опис або модельний підхід.

Розглянемо три найбільш відпрацьовані і використовувані моделі механізму зворотного осмосу.

1. *Капілярно-фільтраційна модель*, згідно з якою знесолення розчинів електролітів зворотним осмосом є не що інше як дегідратація – відбір іонів,

найменш щільно зв'язаних з молекулами води, мембраною під впливом прикладеного тиску. Звідси стає зрозумілим і явище прямого осмосу: при розділенні води і водного розчину гідрофільною напівпроникною мембраною на поверхні і всередині пор мембрани утворюється шар зв'язаної води. Тепловий рух іонів у розчині призводить до того, що вони захоплюють воду у поверхні мембран, включаючи її у свої гідратні оболонки і переносять в об'єм розчину, де вода перерозподіляється між іншими іонами. Зменшення концентрації води на поверхні мембрани, поверненої до розчину, компенсується переходом чистої води через мембрану. Перехід води відбувається доти, поки сили, що визначаються притяганням води до іонів, не будуть врівноважені силами гідростатичного тиску з боку розчину. Капілярно-фільтраційна модель дозволяє пояснити вплив зовнішніх факторів на процес розділення електролітів зворотним осмосом. Основний принцип роботи – гідратаційно-дегідратаційний переніс іонами електролітів молекул води в область зв'язаної води. Проте представлена модель приводить до уявної аналогії при розрахунку осмотичного тиску за рівнянням Вант-Гоффа [7].

2. *Структурна модель*, в основу якої покладене уявлення про те, що напівпроникна мембрана вибірково адсорбує воду, а коефіцієнт затримки визначається зміною структури води у порах. Зниження концентрації розчину у порах мембрани у порівнянні з концентрацією об'ємного розчину розглядається як зниження здатності розчиняти солі водою, що знаходиться у порах. Зміна структури води в тонких порах мембрани відбувається, як можна припустити, внаслідок взаємодії молекул води з карбоксильними групами (у випадку ацетатцелюлозних мембран) і з гідроксильними групами (у мембранах з пористого скла). Щодо полімерних мембран – цей механізм поки ще не досліджений. Таким чином, причиною зниження концентрації розчинених речовин у тонких порах мембрани є зміна структури води [3].

3. *Електрохімічна модель*. При розділенні розчинів електролітів зворотним осмосом на коефіцієнт затримки можуть впливати не лише структурні зміни води у порах, але й електричні поля, викликані власним зарядом поверхні пор чи її зарядженням внаслідок різниці адсорбційних потенціалів катіонів і аніонів [7].

Таким чином, проблема забезпечення населення якісною питною водою з використанням мембранних технологій визначається, по-перше, якісним та кількісним складом води у джерелах водопостачання, по-друге – розробкою і використанням сучасних передових методів та технологій підготовки і доочистки води.

Одним із основних невирішених досі питань є визначення рівня енергії, необхідної для створення відповідних тисків при коригуванні складу і підготовці питної води із різних джерел водопостачання (табл. 1, 2).

Розвиток мембранних процесів для вирішення складних технологічних задач стримується відсутністю по суті фундаментальних теоретичних основ як осмосу, так і зворотного осмосу і в першу чергу механізмів дії цих процесів.

Саме такий стан не дозволяє вести точні розрахунки технологічних процесів і апаратів.

Представлені моделі та гіпотези механізму зворотного осмосу не знайшли підтримки, можливо, через те, що вони враховують в механізмі зворотного осмосу вплив різних параметрів як одне ціле. На нашу думку, при створенні моделей і гіпотез необхідно чітко розрізняти два рівні процесів: макропроцесів, як наприклад, тиску і мікропроцесів, як зміна структури води на границях розділу фаз в системі „мембрана-вода”, вирішення яких далеко не схожі.

Список літератури

1. Дерпгольц В.Ф. Мир воды. – Л.: Недра, 1979.
2. Дерпгольц В.Ф. Вода во вселенной. – Л.: Недра, 1971.
3. Галактионов В.Д. Жизнь рек. – Л.: Госэнергоиздат, 1951.
4. ГОСТ 2874-82 Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством.
5. Державні санітарні правила і норми «Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання».
6. Дытнерский Ю.И. Баромембранные процессы. – М.: Химия, 1986. – 272 с.
7. Дытнерский Ю.И. Мембранные процессы разделения жидких смесей. – М.:Химия, 1975. – 232 с.
8. Kao A.S., Krishnader M.R. Structure and property of zirconia toughened alumina composites processed using zirconyl chloride and alumina powders // CIM Bull. – 1989. – V.82, N926. – P.95.
9. Pepper D. Ro – fractionation membranes // Desalination. – 1989. – V.70. – P.89–93.
10. Negative rejection of anions in the loose reverse osmosis separation of mono and divalent ion mixtures/T. Tsuru, M. Urairi, S.I. Nakao, S. Kimura // Desalination. – 1991. – V.81. – P.219–227.
11. Сульфированные полисульфоновые мембраны/А.Ф. Мельник, А.Ф. Бурбан, М.Т.Брык//Химия и технология воды. – 1990. – Т.12, №10. – С.921–924.
12. Nanofiltration with modified polyacrylonitrile ultrafiltration membranes/M. Becker, Ch. Eisold, H.-G. Hicke, H. Bushatz// «Membranes and membrane processes»: Proc. the 1993 International Congress. – Heidelberg, 1993. – P. 5–14.
13. Nanofiltration membranes broaden the use of membrane separation technology/J. Cadotte, R. Forster, M. Kim et al. // Desalination. – 1988. – V.70, N1. – P.77–88.
14. Сапон И.П., Цапюк Е.А. Модифицирование разделительных свойств обратноосмотических мембран неионогенными поверхностно-активными

веществами // Мембраны и мембранные технологии: Тез.докл. I Республ. конф. по мембранам и мембранной технологии. – Киев: 1987. – С.12–14.

15. Брык М.Т., Нугматуллин Р.Р. Наночелювтрация и наночелювтрационные материалы // Химия и технология воды. – 1995. – Т.17, №4. – С.375–397.

16. Dukes G.M., Conlon W.J. Use membrane technology in Florida // JAWWA. – 1989. – N.10. – P.43–46.

17. Watson B.M., Hornburg C.D. Low-energy membrane nanofiltration for removal of color, organics and hardness from drinking water supplies // Desalination. – 1989. – V.72, N1–2. – P.11–22.

18. A novel compact nanofiltration and reverse osmosis module system for environ-mental application / C.J. Pehers, J.W. de Rjik, H. Schonewille, A. Zwiijnenburg // Proc. Eng. of Membrane Processes (Environmental application). – Cioceo, 1994. – 6 p.

19. Analyse par HPLC et CG/SM des constituants du carbone organique dissous (COD), du COD biodegradable (CODB), et des composes organohalogenes (TOX) d'un permeat de nanofiltration (K.M. Agbekodo, J.P. Croue, S. Dard, B. Legube // Rev. Sci. Eau. – 1996. – V. 9, N 4. – P.532–555.

20. Первов А.Г., Резцов Ю.В., Кандаурина Л.М. Получение питьевой воды на мембранных установках // Водоснабжение и сантехника. – 1995. – №11. – С. 13–14.

21. Пономарев М.И., Нестеренко С.А., Пономарева В.М. Использование плоскорамной обратноосмотической установки в режиме частичной деминерализации воды // Химия и технология воды. – 1998. – Т.20, №5. – С.523–528.

22. Принципы подбора наночелювтрационных мембран для получения питьевой воды / А.А. Поворов, В.П. Дубяга, К.Н. Платонов, Н.В. Корнилова // Труды Третьего междунар. Конгр. «Вода: экология и технология» (ЭКВАТЭК-98). М., 1998. – С.297–298.

23. Влияние хлорирования и озонирования на суммарную мутагенную активность питьевой воды / В.С. Журиков, В.В. Соколевский, Т.Е. Можяева // Гигиена и санитария. – 1997. – №1. – С.11–13.

24. A "Fyne" glass of water // Water and Waste Treat. (Gr. Brit.), 1997. – V. 40, N 4. – P.25.