

Брик М. Т.

## ПИТНА ВОДА І МЕМБРАННІ ТЕХНОЛОГІЇ (ОГЛЯД) \*

*Проаналізовано сучасний стан проблеми використання мембранних технологій для одержання питної води та методи попередньої підготовки природних вод перед їх опрісненням і вказано на перспективність безреагентних методів попередньої їх очистки. Класифіковано сфери споживання питної води і відповідне їм апаратурне оформлення способів одержання питної води мембранними методами. Детально розглянуто технологічні, економічні, екологічні та енергетичні аспекти проблеми одержання питної води мембранними методами з морської, солених, солонуватих підземних та поверхневих (озерних та річкових) вод. Вперше зроблена спроба аналізу санітарно-гігієнічних проблем одержання питної води з використанням мембранних технологій.*

### Вступ

Нерівномірність розподілу прісної води по регіонах планети, в тому числі в межах окремих країн, зростаючий обсяг споживання прісної води промисловим та аграрним виробництвами, а також комунально-побутовою сферою на фоні безперервного зниження якості природних вод внаслідок їх антропогенного забруднення ставлять забезпечення населення планети якісною питною водою в ряд найважливіших соціально-економічних проблем світового співтовариства.

Особливо гострою є ця проблема для країн, де запаси природної прісної води обмежені. До таких країн належить і Україна, яка має один з найбільш низьких показників в Європі з забезпечення прісною водою в розрахунку на душу населення. Проблема забезпечення прісною водою є найпекучішою для південних регіонів України, насамперед Криму. Ситуація ускладнюється ще тим, що найбільш водомісткі галузі промисловості (гірнична, металургійна, хімічна тощо) зосереджені також в південних регіонах України. Крім цього, якість прісної води в Дніпрі, за рахунок якої забезпечується питною водою до 48 населення країни, за останні 40—50 років неухильно погіршується.

Міські водопровідні мережі, особливо в малих і середніх містах України, застарілі, незадовільно експлуатуються, а якість води, яка подається населенню міськими водопроводами, час-

то не відповідає вимогам, що пред'являються до якості питної води (табл. 1).

Не менш складною є проблема забезпечення якісною питною водою сільських населених пунктів України, в більшості яких відсутнє централизоване водопостачання, а якість води в локальних джерелах (колодязі, свердловини тощо) також часто не відповідає вимогам, які пред'являються до питної води.

Все викладене вище ставить проблему суцільного покращання якості питних вод шляхом технічного і технологічного переозброєння цієї галузі господарства в ряд життєво важливих проблем України.

Одним з практично можливих шляхів покращання якості питної води, особливо для локального водопостачання і забезпечення питною водою малих та середніх міст, є використання мембранних технологій очистки (мікро-, ультра- та нанофільтрування) та опріснення (електродіаліз, зворотний осмос, нанофільтрування, мембранна дистиляція) природних, в тому числі й морських, вод.

Мембранні методи в останні два десятиліття почали широко використовуватися в промислових масштабах [1—9] в ряді розвинених країн, таких як США, Японія, Франція, Саудівська Аравія, Кувейт та інших країнах Близького та Середнього Сходу (табл. 2).

Варто також зазначити, що за останні роки вимоги до якості питної води, що подається міськими мережами водопостачання, суттєво підвищилися і для їх виконання проведено рекон-

\* Зміст статті викладено у доповідях на XI українському семінарі з мембран та мембранних технологій (Ворзель, 23—25 вересня 1997 р.) та 5-й щорічній науковій конференції НаУКМА (1—5 лютого 1999 р.).

Вимоги до питної води

Показники якості води	Одиниці виміру	ВОЗ	Стандарт США, 92	Норми ФРН	ГОСТ 2874-82, СанПН 4630-88
Жорсткість	мг-екв/л				7,0
Карбонатна жорсткість	мг-екв/л				4,8
Забарвленість	стандартні одиниці	15	15	0,5 м <sup>л</sup>	20
Каламутність	мг/л	5,0	1,0	1,5	1,5
pH	одиниці pH	6,5-8,5	6,5-8,5		6,5-8,5
Присмак і запах	бали				2,0
Сухий залишок	мг/л	1000	500		1000
Алюміній	мг/л	0,2			0,5
Амоній	мг/л	1,5			2,0
Залізо	мг/л	0,3	0,3	0,2	0,3
Кальцій	мг/л			400	
Магній	мг/л			50	
Манган	мг/л	0,1	0,05	0,05	0,1
Мідь	мг/л	1,0	1,0	1,0	1,0
Нікель	мг/л	0,1		0,05	0,1
Нітрати	мг/л	50			45
Нітриди	мг/л	3,0			3,0
Плюмбум (Свинець)	мг/л				0,03
Сульфати	мг/л	250	250	240	500
Фториди	мг/л	1,5	2,0		0,7-1,5
Хлориди	мг/л	250	250	250	350
Хлор активний	мг/л				1,1-1,7
Хром	мг/л	0,05	0,1	0,05	0,5
Цинк	мг/л	5,0	5,0	5,0	5,0
БСК	мг Ог/л				3,0
ХСК	мг О <sub>2</sub> /л				15
Ацетальдегід	мк-г/л				200
Ацетон	мк-г/л				2200
Хлороформ	мк-г/л	60			60
СС <sub>1</sub>	мк-г/л	2,0			6,0
Загальна кількість бактерій	шт/мл				100

Таблиця 1

струкцію та технологічне переоснащення процесів очистки прісних природних вод. Згідно з рекомендаціями Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) з 1995 року необхідно здійснювати контроль більш ніж за 100 показниками складу води, яка призначена для пиття.

Питна вода — це багатокомпонентний, складного фазово-дисперсного складу водний розчин, що містить розчинені мінеральні і органічні речовини, завислі колоїдні частинки і нешкідливі для здоров'я людини мікроорганізми, без запаху, безбарвний і приємний на смак.

Загальний вміст і співвідношення розчинених і диспергованих в природній питній воді компонентів коливається в досить широких межах, однак вони не повинні перевищувати гранично допустимі концентрації (ГДК) по окремих компонентах, які встановлені нормативними документами (табл. 1), а також не повинні бути нижчі від фізіологічних (санітарно-гігієнічних) норм по ряду життєво необ-

Таблиця 2

Діючі в світі мембранні установки з очищення і опріснення природних вод

Країна	Місто	Рік пуску	Тип та продуктивність установки	Вартість, млн. дол. США	Тип природної води	Вартість опрісненої води; затрати енергії
США, штат Флорида		1991	Зворотноосмотична; тиск — 14 кг/см <sup>2</sup> ; 106 000 м <sup>3</sup> /добу		Солевміст 375—800 мг/л	
Кувейт	Доха	1987	Зворотноосмотична; ПА-рулонні елементи; 1000 м <sup>3</sup> /добу		Морська	
Саудівська Аравія		1991	Зворотноосмотична; рулонні елементи; 56 780 м <sup>3</sup> /добу	65 031 000	Морська, солевміст 41 г/л	0,59 дол./м <sup>3</sup> ; 8,25 кВт-год/м <sup>3</sup>
Мальта	Ла-Валетта	1991	Зворотноосмотична; ПА-рулонні елементи; 53 000 м <sup>3</sup> /добу	14 458 000	Морська, солевміст 38,9 г/л	1,18 дол./м <sup>3</sup> ; 5,96кВт-год/м <sup>3</sup>
Канарські острови	Мас-паломас	1991	Зворотноосмотична; рулонні елементи; 36 000 м <sup>3</sup> /добу	80 850 000	Морська, солевміст 37,1 г/л	1,62 дол./м <sup>3</sup> ; 5,76 кВт-год/м <sup>3</sup>
Бахрейн, Кайманові острови	Рас-Абу-Джарджур	1990	Зворотноосмотична; рулонні елементи; 46 000 м <sup>3</sup> /добу		Артезіанська, солевміст 5—10 г/л	
Індія	Сільські райони	1990	Зворотноосмотична; 100 м <sup>3</sup> /добу (кожна)		Підземна, солевміст 5—10 г/л	
Голландія		1991	Зворотноосмотична			0,8—1,0 гульден/м <sup>3</sup> ; 10 кВт-год/м <sup>3</sup>
Франція	Мері-сюр-Уаз, Овер-сюр-Уаз	1992—1996	Нанофільтрувальні; тиск 1,5—2,0 МПа; 270—1800 м <sup>3</sup> /добу; 400 000 м <sup>3</sup> /добу (проект)			
Німеччина	Кораблі	1992—1995	Зворотноосмотичні; тиск 5—20 МПа		Морська, солевміст 10—15 г/л	

Таблиця 3

## Оптимальний склад питної води

Показники	Одиниці виміру	Велика Британія	Країни СНД	Інші країни
Загальний вміст солей	мг/л		100 (мінім.); 200—400 (оптим. для хлорсульфатних вод); 250—500 (оптим. для гідрокарбонатних вод)	
Жорсткість	мг-екв/л			4,5 (норма); до 3,0 (м'яка); < 1,5 (дуже м'яка)
Лужність	мг-екв/л		0,5 (мінімум) 6,5 (максимум)	
Натрій	мг/л		50 (оптим.)	200 (ВОЗ)
Калій	Те саме		5,0 (оптим.) 7,5 (макс.)	
Натрій+калій	—»—		1,0	
Літій	—»—	0,06—0,15		
Кальцій	—»—	60—125	30	20 (ФРН) 0,8 (Японія)
Магній	—»—	50—100	10	
Стронцій	—»—	20—40		
Срібло	—»—		0,05 (консервант) 0,1 (знезараження)	
Фтор	—»—		0,7 (ГДК)	
Йод	—»—		0,2	
Бром	—»—		0,2 (ГДК)	

хідних мінеральних солей та мікроелементів (табл. 3). Вказані вимоги особливо важливі при використанні для одержання питної води таких технологій опріснення природної води, як зворотний осмос, нанофільтрування, мембранна дистиляція, електродіаліз та термічна дистиляція, оскільки вода, одержана зазначеними методами, непридатна для пиття без коригування її, щонайменше, мінерального складу.

Таким чином, слід розрізняти два типи питних вод, які відрізняються один від одного за походженням та технологією підготовки: очищена природна питна вода і техногенна питна вода, одержана шляхом коригування мінерального складу знесоленої природної води.

Основними споживачами питної води є: побутова, соціально-комунальна сфери та автономні мобільні об'єкти (кораблі, підводні човни, залізничні та автомобільні платформи, космічні станції тощо). Постачання питною водою побутової та соціально-комунальної сфер (школи, дошкільні дитячі заклади, лікарні, готелі, будинки відпочинку тощо) може бути загальним, тобто через міську водопровідну мережу, або локальним з використанням автономних установок очистки і опріснення природних вод та коригування їх мінерального складу [10—12]. На мобільних об'єктах встановлюються тільки автономні (контейнерні) установки очистки та

опріснення води, в більшості з яких використовуються мембранні технології (табл. 4) [13—15].

Складна проблема забезпечення населення якісною питною водою має багато різних аспектів, серед яких основними є науково-технологічний, екологічний, економічний, енергетичний та санітарно-гігієнічний. На даний час запропоновано й використовується понад 15 типів технологій очистки, опріснення та знезараження природних вод з метою одержання якісної питної води (табл. 5).

Серед сучасних технологій одержання питної води найбільш економічними, екологічними, енерго- та матеріалозберігаючими є мембранні технології (зворотний осмос, електродіаліз, ультра- та нанофільтрування, мембранна дистиляція) [3, 6, 7, 9, 10, 12, 17, 18].

Залежно від складу природної води, вимог до якості питної води та обсягів її споживання розроблені і використовуються різні варіанти мембранних технологій очистки та опріснення природних вод та їх апаратне оформлення (табл. 2).

Враховуючи багатокомпонентність та мінливість складу природних вод та його коливання залежно від ряду природних, в тому числі сезонних, і техногенних факторів, використання будь-якої з вказаних технологій підготовки питної води вимагає її комплексності та багатостадій-

Таблиця 4

**Споживачі питної води та апаратурне оформлення мембранних установок**

Споживачі	Продуктивність установок	Тип і характеристики установок
Побутова сфера	3—100 л/добу	УФ-, НФ- і ЗО-установки; контейнерні
Соціально-комунальна сфера	100—3000 л/год.; 3—60 000 м <sup>3</sup> /добу і більше	УФ-, НФ-, ЗО-, ЕД-установки; контейнерні, стаціонарні та капітальні
Автономні об'єкти (підводні човни, кораблі, космічні станції, автомобільні та залізничні платформи)	100—3 000 л/добу і більше	УФ-, НФ-, ЗО- і ЕД-установки; контейнерні та транспортабельні

Таблиця 5

**Типи технологій та установок для очищення, опріснення та знезараження води**

Механічні методи	Фізико-хімічні методи	Сорбційні методи	Мембранні методи	Інші методи	Методи знезараження води
Фільтрування через зернисті шари (пісок, кварц, скло, вуглецеві та металічні порошки)	Коагуляція	Сорбція на природних сорбентах (цеоліти, глини)	Мікрофільтрування	Електрохімічна	УФ-опромінення
Фільтрування через волокнисті нетканинні і тканинні матеріали	Флокуляція	Сорбція на активованому вугіллі	Ультрафільтрування	Магніто-енергетична	Озонування
Фільтрування через пористі неорганічні матеріали	Флотация	Сорбція на іонообмінних смолах	Нанофільтрування		Хлорування
			Зворотний осмос		Бактерицидні полімери
			Електродіаліз		
			Мембранна дистиляція		
			Первапорация		

ності. Ця вимога в однаковій мірі стосується всіх існуючих технологій, в тому числі й інтегрованих (гібридних) мембранних технологій очистки, опріснення та знезараження питної води.

Розглянемо сучасний стан проблеми використання мембранних технологій для одержання питної води з морських (океанських), річкових (озерних) та підземних вод.

**Очистка та опріснення морських вод**

*Попередня очистка води.* В ряді країн світу (США, Саудівська Аравія, Бахрейн, Кувейт, Мальта та ін.) в останні 10-15 років побудовані та діють мембранні, насамперед, зворотноосмотичні установки різної одиничної продуктивності по опрісненню морських та підземних солевих вод (табл. 2) [6—8, 17, 18—27].

Принципово важливою і необхідною умовою для одержання опрісненої морської води є її багатостадійна попередня очистка від домішок та забруднень різної дисперсності та природи.

Після видалення грубих (механічних) домішок різними способами виникає необхідність очистки води від тонких (завислих) та колоїдних забруднень. Ця стадія попередньої очистки води може бути безреагентною з використанням різноманітних фільтрів (залежно від ступеня забрудненості води) або реагентною з використанням коагулянтів, флокулянтів та інших реагентів разом з обов'язковим фільтруванням крізь тонкі мікрофільтраційні патронні фільтри (табл. 6) [20, 21, 24, 25, 27—30].

Морські води, які підлягають зворотноосмотичному опрісненню, за характером їх забрудненості поділяються на чотири групи [31]: маломутні (< 50 мг/л), що містять значну кількість гумінових речовин (**I** тип); маломутні зі значним вмістом полімерних органічних сполук (**II** тип); середньої мутності (100—200 мг/л) з незначним вмістом органічних речовин (**III** тип); середньої мутності зі значним вмістом органічних сполук (**IV** тип).

Попереднє очищення природних вод

Очищення від грубих механічних забруднень		Очищення від тонких і колоїдних домішок			
Поверхневі природні води	Способи видалення домішок	Морська вода		Поверхневі і підземні води	
		Реагентні методи	Безреагентні методи	Реагентні методи	Безреагентні методи
1. Предмети, що плавають	1. Ґрати на трубі водозабору	1. Коагуляція, флотація, фільтрування	1. Піщаний фільтр, наливний фільтр	1. Коагуляція, піщаний фільтр, патронний фільтр	1. Двошаровий фільтр, патронний фільтр
2. Частинки з розміром понад 1,5 мм	2. Ротаційний екран	2. Коагуляція в лінію	2. Піщаний фільтр, ультрафільтрування	2. Знезараження, патронний фільтр	2. Патронний фільтр
3. Дрібні піщинки	3. Пастка в трубі водозабору	3. Коагуляція, відстоювання, фільтрування	3. Двошаровий фільтр, піщаний фільтр, патронний фільтр	3. Підкислення	
4. Завислі частинки	4. Басейн для відстоювання води	4. Знезараження, патронний фільтр	4. Піщаний фільтр, двошаровий фільтр, патронний фільтр	4. Пом'якшення	
		5. Підкислення	5. Двошаровий фільтр, патронний фільтр		
		6. Пом'якшення	6. Чотиришаровий фільтр, піщаний фільтр (< 1 мкм)		

Попередня очистка морських вод I типу може обмежуватися фільтруванням через двошаровий фільтр та патронний мікрофільтр (1—5 мкм) [24, 25, 31]. Для попередньої очистки морських вод II типу використовують, як правило, реагентну обробку [20, 21, 28—31].

Типові технологічні схеми попередньої реагентної очистки морської води включають такі стадії: очистка від грубих частинок на механічних фільтрах; відстоювання; хлорування; підкислення; введення коагулянтів або флокулянтів безпосередньо в лінію з наступним фільтруванням на багатошарових фільтрах; дехлорування; фільтрування на активованому вугіллі; підкислення; введення гідросульфату натрію; мікрофільтрування на патронних фільтрах (1—5 мкм); введення інгібітора (гексаметафосфату натрію) утворення осаду (рис. 1) [32].

Як коагулянти при обробці вод II типу найчастіше використовують хлорид або (та) сульфат заліза [20, 21], а також сульфат та гідроксохлориди алюмінію [31], а як флокулянти — аніонні поліелектроліти [33] разом з коагулянтами та окремо — катіонні поліелектроліти [34].

Разом з тим значно розповсюдилася безреагентна попередня очистка морських вод II типу, в якій використовують багатостадійне фільтрування за такими схемами [31]: грубий фільтр — тонкий фільтр; двошаровий фільтр (антрацит/пісок) — патронний мікрофільтр; двошаровий фільтр — одношаровий фільтр — патронний мікрофільтр; гравітаційний пісочний фільтр — двошаровий фільтр — патронний мікрофільтр; пісочний фільтр — патронний мікрофільтр; гравітаційний пісочний фільтр — наливний фільтр.

Для попередньої очистки морських вод III типу зазвичай використовують також багатостадійне фільтрування, а води IV типу очищують, як правило, реагентними методами з введенням коагулянтів або катіонних флокулянтів в лінію з наступним фільтруванням на двошарових та патронних мікрофільтрах [31]. При цьому проводиться моніторинг за такими параметрами: індекс мулової щільності, мутність, рН, температура та вміст хлору.

На стадії попередньої очистки води найбільші труднощі пов'язані з морськими водоростями та інтенсивним ростом бактерій, які надають воді неприємного смаку і запаху [28—30]. Для запобігання цьому в воду вводять хлор, мідний купорос або використовують шоківу обробку гідросульфитом натрію.

У схемі попередньої очистки морської води на двостадійній мембранній установці Доха (Кувейт) з загальною продуктивністю 3000 м<sup>3</sup>/добу

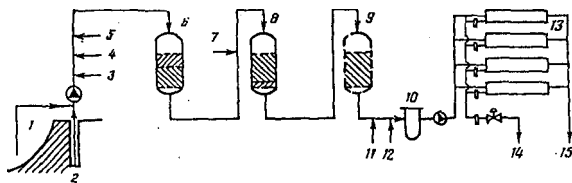


Рис. 1. Загальна технологічна схема попереднього очищення морської води перед зворотноосмотичним опрісненням [32]: 1— поверхнева вода; 2— свердловина; 3— хлор; 4— кислота; 5, 7— поліелектроліт; багатшаровий фільтр; коагуляція в лінію; 6— багатшаровий фільтр; 8— коагуляція в лінію; 9— дехлорування (фільтр з активованим вугіллям та шок-обробка гідросульфитом натрію); 10— патронний фільтр (1—5 мкм); 11— кислота; 12— гідросульфит натрію; 13— зворотноосмотичні модулі; 14— концентрат; 15— пермеат

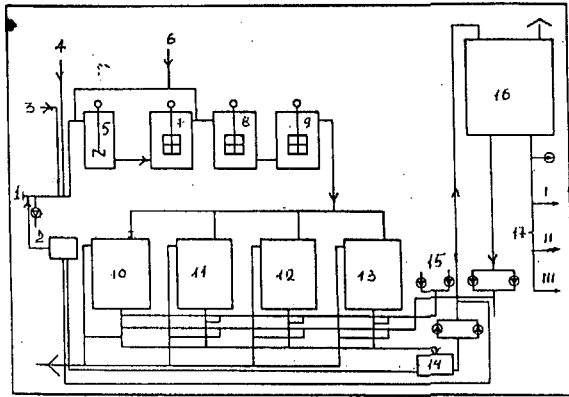


Рис. 2. Схема лінії попереднього очищення морської води [21]: 1 — морська вода; 2 — хлорування; 3 — дозування калію; 4 — дозування коагулянту — сульфату і хлориду заліза; 5 — резервуар нестабілізації; 6 — дозування поліелектроліту; 7—9 — стадії флокуляції; 10—13 — стадії фільтрування; 14 — резервуар змішування; 15 — продування повітрям; 16 — основний відстійник; 17 — I, II, III — ліній опріснення

(табл. 2), на якій змонтовано три паралельні лінії з порожнинно-волоконними, рулонними та плоскокамерними (на другій стадії рулонними) елементами, передбачені такі стадії попередньої обробки води (рис. 2) [20, 21, 35]: після попереднього хлорування і підкислення в воду вводять коагулянт (сульфат-хлорид заліза); відстоювання; фільтрування через двошаровий фільтр (кварцовий пісок/антрацит); дозування гідросульфату натрію і гексаметафосфату натрію; фільтрування через шар активованого вугілля; дозування сірчаної кислоти. Ця схема є найбільш прийнятною для рулонних мембранних елементів. Для порожнинно-волоконних елементів фірми Du Pont В-9 та В-10 схема відрізняється додатковим введенням флокулянта (поліелектроліт Superflue С573), фільтруванням на патронних мікрофільтрах (5 мкм) та більш старанною очисткою від залишку хлору з врахуванням того, що мембрани виготовлені з поліаміду, який відносно легко окислюється хлором. Для плоскокамерних мембранних елементів використані 25-мікронні патронні фільтри.

На одній з найбільших у світі зворотноосмотичних установок Рас-Абу-Джарджур (Бахрейн) з продуктивністю 46 000 м<sup>3</sup>/добу (табл. 2) [27] попередня очистка артезіанської води, яка має вміст солей від 10 до 30—35 г/л і до 13 мг/л сірководню, складається з таких стадій: введення поліелектролітного флокулянта; фільтрування через двошаровий фільтр; видалення органічних речовин методом адсорбції через вугільний фільтр, який періодично регенерують і обробляють хлором; введення інгібітора утворення осаду; підкислення сірчаною кислотою; фільтрування через патронні мікрофільтри.

*Мембрани (мембранні елементи, технологія опріснення.* Для зворотноосмотичного опріснення морської води використовують мембранні елементи різноманітних типів: рулонні, порожнинно-волоконні та плоскокамерні [19—21, 23, 24, 28, 29, 35]. Найбільшого поширення набули рулонні мембранні установки. На установці Доха (Кувейт) для експериментальної експлуатації використані три паралельні лінії двостадійного зворотноосмотичного опріснення: з порожнинно-волоконними елементами; з рулонними елементами; з плоскокамерними і рулонними елементами (рис. 3—5) [35]. На першій стадії використані рулонні елементи UOP-1504, порожнинно-волоконні поліамідні елементи В-10 та мембрани різного хімічного складу в плоскокамерних елементах, на другій — рулонні елементи UOP-8600, поліамідні порожнинно-волоконні В-9 та Hydronautics 8040. У разі використання в рулонних елементах композиційних мембран можлива одностадійна схема опріснення [36], що зменшує капітальні та експлуатаційні витрати порівняно з традиційними двостадійними установками.

Крім порожнинно-волоконних поліамідних мембран Permaser, В-9, В-10 [20, 21, 35] в рулонних елементах найбільш часто використовують ацетатцелюлозні мембрани, стійкі до хлору [1, 19]. В останні роки зростає використання в опрісненні морської води композиційних зворотноосмотичних мембран фірми Filmtec (США), які складаються з трьох шарів: поліефірної підкладки завтовшки 125—150 мкм, полісульфонового проміжного шару завтовшки 40 мкм і діаметром пор 15 нм та поліамідного ультратонкого непористого шару завтовшки 0,1—0,2 мкм, який формується методом міжфазної поліконденсації.

Як вже зазначалося, опріснення морської води відбувається, як правило, за двостадійною схемою. Так, на зворотноосмотичній станції Доха (Кувейт) [28] при початковому вмісті солей у воді 41,4 г/л її опріснення на порожнинно-волоконних елементах (на першій стадії — В-10, на другій — В-9) дало можливість досягти вмісту солей 975,0 та 130,0 мг/л на першій та другій стадіях опріснення відповідно. Змішуванням води першої та другої стадій опріснення досягали вмісту солей в опрісненій воді 390,0 мг/л, що відповідає вимогам до питної води.

За іншими даними [38], початковий вміст солей в морській воді на станції Доха становив 47,0 г/л і при опріснюванні на трьох лініях за двостадійною схемою (дві стадії з порожнинно-волоконними елементами В-10 і В-9 відповідно; дві стадії з рулонними елементами UOP-1504 і UOP-8600 відповідно; на першій стадії плоско-

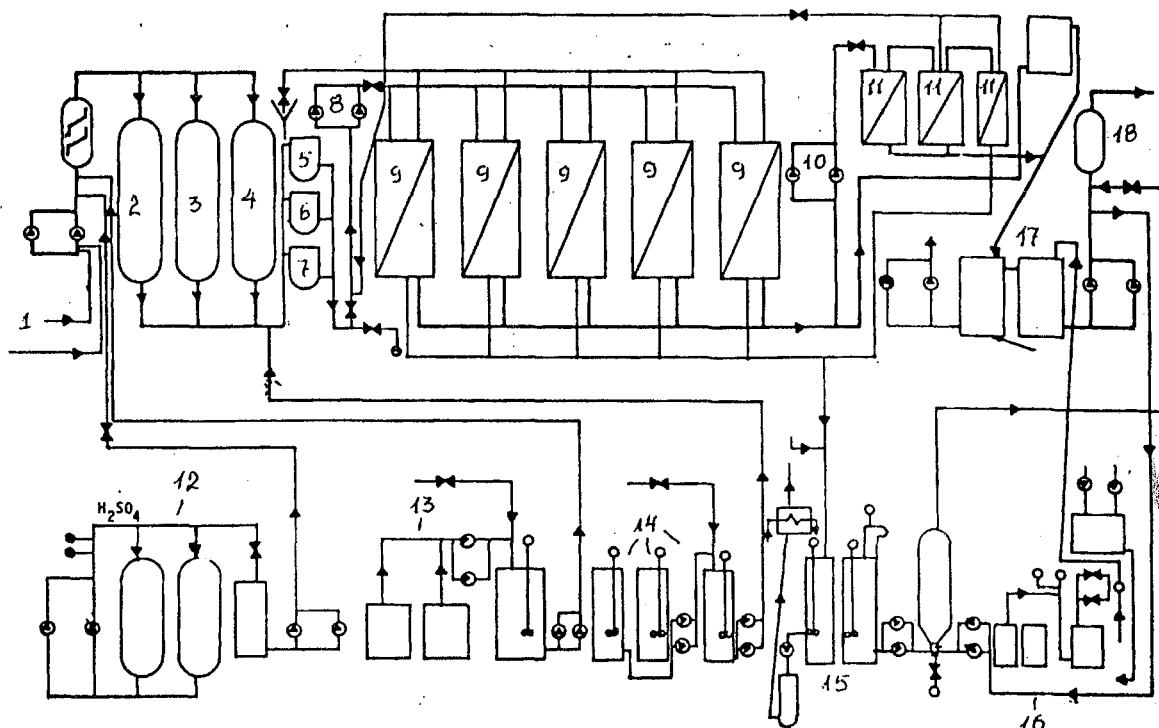


Рис. 3. Схема лінії опріснення морської води з використанням порожнинних волоконних елементів (загальний відбір води — 11 %; продуктивність — 1000 м<sup>3</sup>/добу) [35]: 1 — подача води після попереднього очищення; 2—4 — коагуляція в лінійо; 5—7 — патронні фільтри; 8 — насос високого тиску (6,5 МПа) першого ступеня; 9 — перший ступінь опріснення води (відбір води — 28 %; селективність — 98 %); 10 — насос другого ступеня (3 МПа); 11 — другий ступінь опріснення (відбір води — 85 %; селективність — 90 %); 12 — система підкислення; 13 — система введення поліелектроліту; 14 — система введення сульфіту натрію; 15 — лінія дозування вапна; 16 — хлорування; 17 — змішування опрісненої води; 18 — питна вода

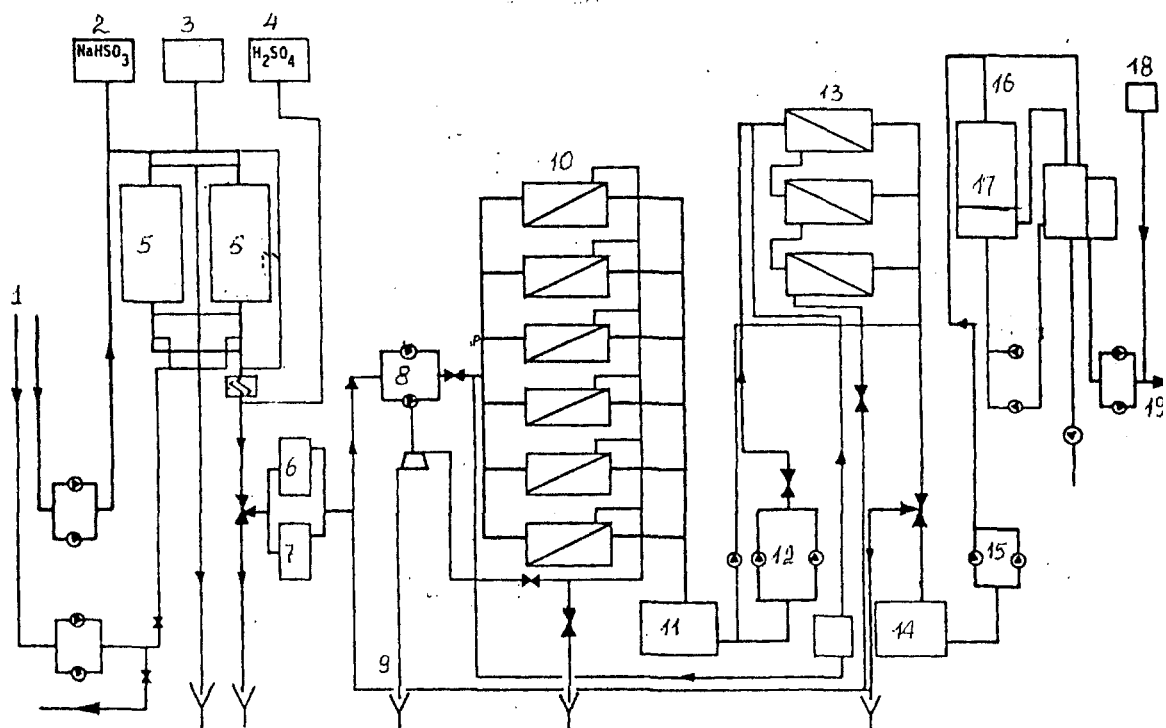


Рис. 4. Схема лінії опріснення морської води з використанням ролонних елементів (загальний відбір води — 27 %; продуктивність — 1000 м<sup>3</sup>/добу) [35]: 1 — подача води після попереднього очищення; 2 — обробка гідросульфідом натрію; 3 — обробка поліфосфатами; 4 — підкислення; 5 — фільтрування через активоване вугілля; 6 — змішувач; 7 — патронний фільтр; 8 — насос високого тиску (7 МПа) першого ступеня; 9 — система рекуперації енергії; 10 — перший ступінь опріснення (відбір води — 30 %; селективність — 98,9 %); 11 — вода, яка опріснена після першого ступеня опріснення; 12 — насос другого ступеня (3 МПа); 13 — другий ступінь опріснення (відбір води — 85 %; селективність — 98 %); 14 — вода після другого ступеня опріснення; 15 — насос подачі води; 16 — обробка води доломітом; 17 — просвітлювач; 18 — система хлорування; 19 — питна вода

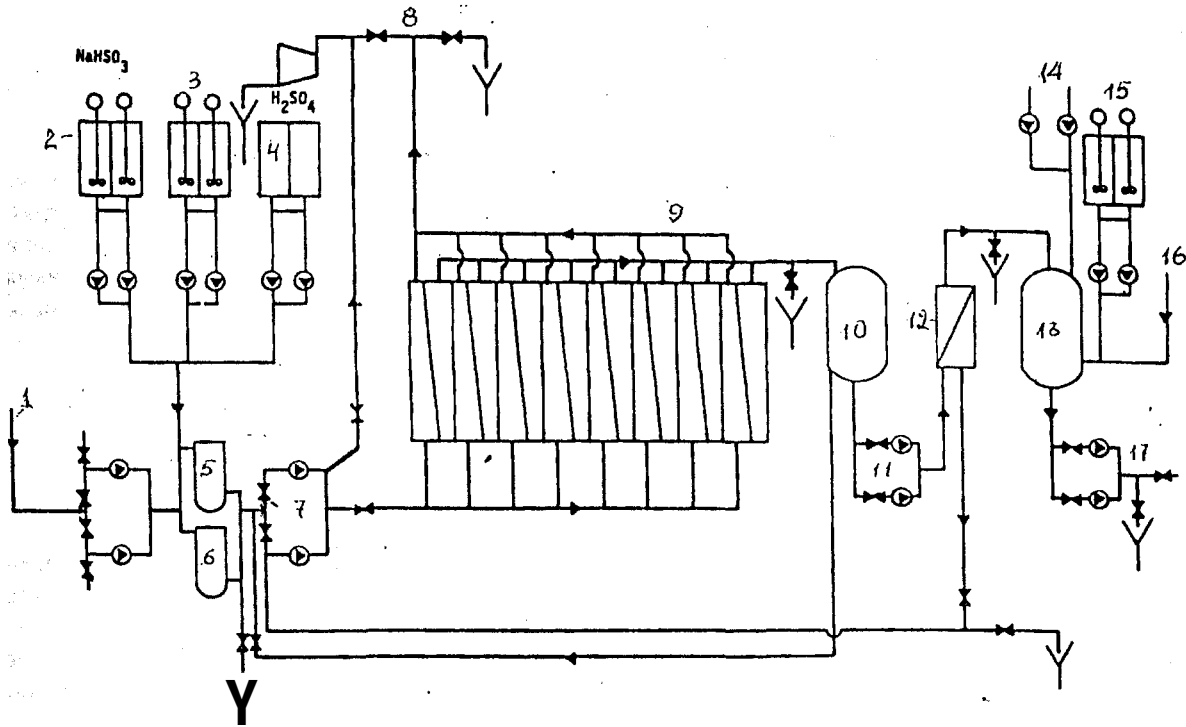


Рис. 5. Схема лінії опріснення морської води з використанням плоскокамерних та рулонних елементів (загальний відбір води — 32%; продуктивність — 1000 м<sup>3</sup>/добу) [35]: 1 — вода після попереднього очищення; 2 — гідросульфит натрію; 3 — інгібітор утворення осаду; 4 — підкислення; 5—6 — патронні фільтри; 7 — насос високого тиску (8 МПа) першого ступеня опріснення води; 8 — система рекуперації енергії; 9 — перший ступінь опріснення води на плоскокамерних модулях (відбір води — 36%; селективність — 94%); 10 — вода після першого ступеня опріснення; 11 — насос другого ступеня (3,5 МПа); 12 — другий ступінь опріснення на рулонних елементах (відбір води — 90%; селективність — 80%); 13 — дегазація; 14 — продування повітрям; 15 — введення їдкого натру; 16 — хлорування; 17 — питна вода

камерні елементи з мембранами різних типів (CA, RO-112, FT-30), а на другій — рулонні елементи Hydronautics 8040) вміст солей в опрісненій воді становив: 2000 і 215 мг/л відповідно на першій і другій стадіях першої лінії; 680 і 40 мг/л відповідно на двох стадіях другої лінії; 350 і 348 мг/л — на третій лінії, при рН в лініях 4,0, 6,2, 5,0 відповідно. Відбір води на першій стадії першої лінії (волокно — волокно) становив 28% при затримці солей 98% (тиск ~ 6,0 МПа), а на другій — 85% при затримці солей 90% (тиск ~ 3,0 МПа) (рис. 3) [35]. Відбір води на першій стадії другої лінії (рулон — рулон) становив 30% при селективності по солях 98,9% (тиск ~ 6,5 МПа), а на другій — 85% при селективності по солях 98% (тиск ~ 3,0 МПа) (рис. 4) [35]. Відбір води на першій стадії третьої лінії (плоскокамерний та рулонний елементи) становив 36% при затримці солей 94% (тиск ~ 8,0 МПа), а на другій — 80% при затримці солей 90% (тиск ~ 3,5 МПа) (рис. 5) [35].

Після опріснення води за будь-якою із вказаних схем проводиться знезараження води (хлорування, озонування, УФ-опромінення тощо), регулювання рН та мінерального складу (вапняк, мармур, вапно, луг) та фільтрування на патронних мікрофільтрах.

Опріснення морської, солоної та солонуватої води можливе також з використанням електродіалізу [3, 5, 7, 9, 17, 18, 39—43]. Слід вказати, що електродіалізне опріснення найбільш ефективно при вмісті солей у воді 1—10 г/л [6]. Однак відомі дослідження з електродіалізного опріснення морської води з загальним вмістом солей 35 г/л [17], при цьому пом'якшення води проводилося на Na-катионітних фільтрах за одностадійною (залишкова карбонатна жорсткість 330 мг/л) або двостадійною (повне пом'якшення) схемою. Загальний вміст солей в процесі електродіалізу знижувався до 1 г/л, а концентрація солей в розсолі досягала 75 г/л. Електродіаліз може бути ефективно використаний також для видалення з морської та солоної води надлишків бору [40, 42], фтору [43] та інших шкідливих домішок.

*Техніко-економічні та енергетичні аспекти опріснення морської води.* Ефективність процесу опріснення морської і солоної води визначається за величиною витрат електроенергії, ступеня відбору води і ступеня її знесолення, співвідношенням витрат енергії з питомою та одиничною продуктивністю мембранного апарата або установки та капітальними витратами. До початку 90-х років пом'якшення та опріснен-



ня води для питного водопостачання з використанням мембранних процесів вважалося [11] занадто складним і дорогим способом. Однак удосконалення цих технологій з точки зору можливості їх здешевлення, яке б давало змогу отримувати питну воду високої якості, та зростання дефіциту прісної води сприяли збільшенню числа мембранних опріснювальних установок з одиничною продуктивністю від 10—100 м<sup>3</sup>/добу [12, 15, 39, 44—47] до 50 000—300 000 м<sup>3</sup>/добу [12, 19, 23, 27, 47—50].

При встановленні відносно невеликих (3—10 м<sup>3</sup>/добу) опріснювальних електродіалізних та зворотноосмотичних установок як джерело енергії можуть бути використані вітро- [51, 52] або геліоустановки [39, 41, 53—55]. Проведено техніко-економічний розрахунок декількох технологічних схем зворотноосмотичного опріснення морської води з використанням вітроустановок. У цілому така технологічна схема вважається нееконімічною навіть за середньої швидкості вітру понад 8 м/с, що пояснюється високою вартістю механізації та автоматизації обладнання вітроустановок. Однак при зниженні вартості обладнання та мембран, а також зростанні ціни на паливо може бути доцільним використання енергії вітру для зворотноосмотичного опріснення морської води у віддалених районах, де існують дефіцит електроенергії та труднощі з доставкою пального.

Основна проблема використання геліоустановок, так само як і вітрових, полягає у нестійкості електричної потужності установок та необхідності пошуку шляхів акумуляції енергії. У зв'язку з цим пропонуються різноманітні схеми роботи установок: з постійною та змінною продуктивністю по опрісненій воді [41] або часткове опріснення морської води при більшій потужності, а при малій — частково опріснена вода опріснюється до рівня питної води [39]. Розрахунок показує [53], що дуже високі капітальні витрати на створення сонячних батарей вимагають обов'язкової рекуперації енергії розсолу, що скидається, особливо при невеликих (10—15 %) коефіцієнтах відбору води. Використання для рекуперації енергії насосів з високими ККД дає змогу знизити витрати енергії до значень нижчих 4 кВт·год/м<sup>3</sup> прісної води, що виправдовує практичне використання геліоустановок.

Техніко-економічний аналіз капітальних витрат та собівартості зворотноосмотичного опріснення солонуватих вод з мінералізацією 5—10 г/л на установках з продуктивністю від 10 до 100 м<sup>3</sup>/добу показав [44, 45], що збільшення продуктивності установок у вказаному діапазоні

приводить до збільшення капітальних витрат з 50,0 до 200,0 тис. доларів США та до зниження собівартості опрісненої води з 4,0 до 1,5 долара/м<sup>3</sup>. Відбір опрісненої води при цьому становив 40—50 % при селективності мембран 90—92 % (при тискові 4,0 МПа).

За існуючими даними [49], питомі витрати електроенергії при зворотноосмотичному опрісненні морської води на великих установках залежно від вмісту солей в початковій воді знаходяться в межах 5,80—8,25 кВт·год/м<sup>3</sup>, а на малих — 10 кВт·год/м<sup>3</sup> [15]. Використання порожнинно-волоконних мембран Permasep дає змогу знизити на 30 % кількість електроенергії, що споживається, при експлуатації зворотноосмотичних установок з продуктивністю 50 тис·м<sup>3</sup>/добу і більше [23]. Крім цього, оснащення установок системами рекуперації гідравлічної енергії дає змогу на 40 % знизити споживання електроенергії [23].

Собівартість води, отриманої на зворотноосмотичних установках, значною мірою залежить також і від вмісту солей у початковій морській воді. Так, при експлуатації двох установок в Нідерландах для опріснення солонуватої води собівартість становила лише 0,80—1,00 гульден/м<sup>3</sup> (0,4—0,5 дол. США/м<sup>3</sup>) знесоленої води [10]. При опрісненні морської води з вмістом солей 35,0 г/л на двостадійній зворотноосмотичній установці (селективність 53 та 85 %, тиск — 6,0 МПа, концентрація розсолу на виході — 105 г/л) з продуктивністю 100 м<sup>3</sup>/год собівартість опрісненої води знаходиться в межах 1,21—1,82 дол. США/м<sup>3</sup> [50]. Для великих зворотноосмотичних станцій опріснення морської води на Мальті (15 000 м<sup>3</sup>/добу), Канарських островах (36 000 м<sup>3</sup>/добу) і в Саудівській Аравії (56 780 м<sup>3</sup>/добу) при вмісті солей в початковій воді 38,9, 37,1 та 41,0 г/л та в опрісненій воді 500, 450 та 1000 мг/л відповідно собівартість становить 1,18, 1,62 та 0,59 дол. США/м<sup>3</sup> опрісненої води [23, 49]. Загальні капітальні витрати на будівництво цих станцій становили 14 458 (Мальта), 80 350 (Канарські острови) та 65 031 (Саудівська Аравія) млн. дол. США [49].

Порівняльна економічна оцінка двох методів опріснення морської води (зворотний осмос та багатостадійне випаровування) показала [48], що при початковому вмісті солей 45 г/л та двостадійній схемі зворотноосмотичного опріснення (відбір прісної води 30 та 83 % відповідно) при продуктивності установок 3 800 та 38 000 м<sup>3</sup>/добу собівартість води, опрісненої зворотним осмосом, на 17 та 4 % відповідно нижча за одержану методом багатостадійного випаровування.

### **Очистка, опріснення та пом'якшення поверхневих річкових (озерних) та підземних вод**

Сучасний розвиток систем постачання питної води з використанням капітальних споруд характеризується двома основними тенденціями: 1) суттєве удосконалення традиційної технології водопідготовки; 2) застосування нових, насамперед мембранних технологій (зворотний осмос, нанофільтрування, ультрафільтрування, мікрофільтрування, електродіаліз, мембранна дистиляція) для очистки, пом'якшення та часткового знесолення річкових та підземних (в тому числі й солонуватих) вод.

Реалізація традиційної технології водопідготовки (попереднє хлорування або озонування; коагуляційно-флокуляційна обробка з наступним коригуванням рН вапном, содою або карбонатами натрію чи кальцію; освітлення відстоюванням або фільтруванням; ремінералізація сумішшю  $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{CO}_3$ , вапном або  $\text{CO}_2$ ; знезараження хлором або озоном) ускладнюється зростаючою забрудненістю поверхневих вод специфічними речовинами внаслідок господарської діяльності людини та значною залежністю якості цієї води від сезонних та інших природних і техногенних факторів.

Після введення більш жорстких стандартів щодо якості питної води, очистка за традиційною технологією поверхневих вод в умовах погано контрольованого зростання їх забрудненості визнана в Західній Європі, США та інших розвинених країнах незадовільною через наявність у питній воді продуктів хлорування органічних речовин, пестицидів та інших шкідливих речовин [56]. У зв'язку з цим пропонуються можливі шляхи удосконалення традиційної технології підготовки питної води, якими, на думку деяких вчених [57, 58], є: 1) покращання коагуляційно-флокуляційної обробки завдяки застосуванню нових синтетичних флокулянтів (наприклад, аніонного поліелектроліту AN 910 Floerger); 2) покращання коагуляційно-флокуляційної обробки шляхом попередньої ремінералізації води сумішшю вапна та  $\text{CO}_2$ ; 3) введення озono-флотатійної обробки; 4) відміна попереднього хлорування в поєднанні з коагуляційно-флотатійною обробкою солями заліза з наступними ремінералізацією та озонуванням (до просвітлення фільтруванням); 5) часткове хлорування; 6) обробка води активованим вугіллям, яке працює в режимі біосорбції.

Безреагентні мембранні методи очистки, пом'якшення та часткове знесолення поверхневих і підземних вод для питного водопостачання до недавнього часу вважалися занадто складними, дорогими і малопродуктивними. Однак завдя-

ки використанню для цих цілей в останні роки низьконапірного зворотного осмосу (тиск до 2,0 МПа) і нанофільтрування (тиск 0,5—1,5 МПа), а також частково електродіалізу ці методи набувають дедалі більшого визнання [47, 56, 57, 59—63]. Так, в США (штати Флорида, Аризона) [7, 47, 61] в останні два десятиріччя мембранну технологію почали інтенсивно використовувати для опріснення солонуватої води, видалення органічних і хлорорганічних сполук, забарвленості та ін. та ефективно впроваджувати замість традиційних методів. Основними напрямками використання мембранних технологій є: зворотний осмос для опріснення солонуватої води; нанофільтрування для часткового пом'якшення і знесолення води та видалення низькомолекулярних (200—500 дальтон) органічних сполук; ультрафільтрування для видалення з води колоїдів, мікроорганізмів, зниження вмісту загального органічного вуглецю та забарвленості. Типова технологічна схема опріснення солонуватих підземних вод з використанням низьконапірного зворотного осмосу включає: попереднє підкислення, введення інгібітора осадоутворення, фільтрування на патронних мікрофільтрах, зворотноосмотичне опріснення, дегазацію та знезараження.

Очищена та опріснена вода характеризується зниженням вмісту загального органічного вуглецю з 15,4 до 1,5 мг/л, забарвленості з 38—85 до 2—3 одиниць, тригалогенметанів з 630 до 56 мкг/л та відсутністю бактерій і вірусів [47, 59].

Європейські фірми (Hoechst, CGE, Degremont та ін.) в останні роки пропонують зворотноосмотичні і нанофільтрувальні технології очистки річкової води до кондицій питної води без використання реагентів [60, 61]. Вартість такої води знаходиться в межах 0,1—0,3 дол. США/м<sup>3</sup>.

Електродіалізні технології використовуються як для підготовки питної води [64—66], так і для видалення з неї нітратів [67—69], вміст яких у воді знижується з 90—96 до 22—25 мг/л при виході очищеної води 97—99,5 %.

Однак, на нашу думку, найбільш ефективною безреагентною мембранною технологією підготовки питної води є нанофільтрування, використання якої швидко поширюється у США і країнах Західної Європи (наприклад, сумарна продуктивність нанофільтрувальних установок в США вже перевищила 270 тис. м<sup>3</sup>/добу [70], а у Франції — 200 тис. м<sup>3</sup>/добу [71]).

Нанофільтрування як мембранний процес, що відбувається при низьких робочих тисках (0,4—1,5 МПа), був розроблений, насамперед, для практичних потреб — обробки природних (головним чином річкових та підземних солонуватих) вод [63, 72]. Тепер це основна галузь ви-

Таблиця 7

*Нанофільтраційне кондиціонування природних поверхневих вод*

Характеристики води, мг/л	Початкова вода	Вода після нанофільтрування
Хлориди	64	22
Сульфати	20	8
Загальний вміст розчинених речовин	396	134
Загальний вміст органічного вуглецю	15,4	1,5
Органічні галогени (мкг/м <sup>3</sup> )	2000	51
Тригалогенметани (мкг/м <sup>3</sup> )	630	56
Забарвленість (градуси)	38	2
Лужність	283	85
Карбонатна жорсткість	284	22
Загальна жорсткість	316	24
Ca <sup>2+</sup>	90	22,6
Mg <sup>2+</sup>	2	0,16
Na <sup>+</sup>	19	9,5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	270	43,2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	6	2,7
Cl <sup>-</sup>	47	21,2

користання нанофільтрування, завдяки якому затримується 90–100 % високомолекулярних та низькомолекулярних органічних сполук, колоїдів, радіонуклідів, солей жорсткості, мікроорганізмів та знижується забарвленість води.

Іноді нанофільтрувальні мембрани називають мембранами для пом'якшення води [47, 63, 72], оскільки вони ефективно знижують загальну жорсткість природних вод (табл. 7). Зокрема, в США (штат Флорида) з 1980 року успішно працює установка з пом'якшення води, в якій використані спеціально створені мембрани з діацетату целюлози, що працюють при 1,4 МПа і забезпечують затримання 47 % хлориду натрію з води, в якій міститься 930 мг/л розчинених речовин [47]. Вже виконано багато досліджень з очищення природних вод з використанням нанофільтрувальних мембран фірми Filmtec, яка є основним виробником, перш за все, мембран серії NF (NF-40, NF-40HF, NF-50, NF-70) [47, 63, 72–75].

В ряді праць [63, 72, 75] показано, що нанофільтрування може замінити коагуляцію, флокуляцію та фільтрацію. Так, при нанофільтрувальній обробці солонуватих вод (загальний вміст солей до 1000 мг/л) забарвленість очищеної води зменшується на 96 %, хлоридів — на 50 %, кальцію — на 90 %, фтору — на 90 %, а можливість утворення тригалогенметанів (при хлоруванні) зменшується від 630 до 56 мкг/л (табл. 7) [63, 72, 74, 76]. Як було показано [73], нанофільтрування з використанням мембран NF-70 може бути використано також для очистки і опріснення морської води (біля берегів штату Флорида), яка характеризується такими показниками: загальний вміст розчинених речо-

вин — вище 500 мг/л, жорсткість — не нижче 250 мг/л, має іони радію і значну кількість органічних речовин, які надають воді неприємного запаху і смаку та є джерелом утворення тригалогенметанів при хлоруванні води. Нанофільтрування цієї води дає змогу отримати якісну питну воду в одну стадію при тискові 0,4 МПа і з високим ступенем відбору очищеної води (80 %). Таким чином, завдяки нанофільтруванню вдається уникнути кількох стадій обробки при отриманні питної води, таких як вапнування (для пом'якшення води) та обробка активованим вугіллям (для видалення органічних домішок). Для отримання високоякісної питної води практично використовується тільки одна додаткова стадія обробки — фінішне знезараження очищеної води.

Можливе також використання нанофільтрування для очистки ґрунтових вод від синтетичних органічних речовин (диброметилену, дибромхлорпропану, гептахлориду тощо) [63]. При цьому спостерігається зниження на 95 % вмісту речовин, які утворюють тригалогенметани, на 93 % — розчинених органічних речовин та на 91 % забарвленості очищеної води, затримка сульфат-іонів становить 100%, іонів натрію — 64 %, заліза — 87 %, зменшується жорсткість води — на 89 %.

Сьогодні багато природних вод мають неприпустимо високий рівень нітратів. Зворотний осмос і електродіаліз дають змогу затримати нітрати і отримати фільтрат високої якості, однак при цьому виникають проблеми знешкодження концентрату з високим вмістом нітратів. Для цього використовують, як правило, випарювання та іонний обмін, але при іонному обміні ви-

лученню нітратів заважають двозарядні аніони. Для вилучення нітратів з артезіанської води була запропонована оригінальна технологія з використанням нанофільтрування [78], відповідно до якої в артезіанську воду додають сульфати, після чого проводять її нанофільтрування. В присутності сульфат-іонів нанофільтрування на мембрані NF-70 характеризується практично нульовою затримкою нітратів, тоді як 90 % сульфат-іонів затримуються. Пермеат, збагачений нітратами, обробляють іонообмінними смолами. Завдяки дуже низькому вмісту в пермеаті сульфатів період між регенерацією іонообмінних смол збільшується в 2–3 рази.

Таким чином, обробка природних вод з використанням нанофільтрування ґрунтується на її характерних властивостях — частковій затримці солей, абсолютна величина якої залежить від типів іонів, практично повній затримці низькомолекулярних органічних речовин і повній затримці колоїдів, високомолекулярних сполук та мікроорганізмів. Ці властивості нанофільтрувальних мембран та нанофільтрування зумовлюють до певної міри їх використання для підготовки питної води як альтернативи традиційній технології або як елемента в гібридних (інтегрованих) технологіях, які об'єднують два або більше мембранних чи інших фізико-хімічних процеси очистки, пом'якшення або опріснення природних вод [63]. Такі інтегровані системи повинні забезпечити значне підвищення ефективності кожного технологічного процесу.

Так, у Франції на початку 90-х років була випробувана пілотна нанофільтрувальна установка обробки річкової води з продуктивністю 5 м<sup>3</sup>/год [76]. При цьому було досягнуто високого ступеня очистки води від солей жорсткості (більше 90 %), хлоридів та інших однозарядних іонів (50–70 %), пестицидів та інших органічних сполук (90–95 %). За результатами пілотних випробувань була створена установка для очистки річкової води з продуктивністю 1400 м<sup>3</sup>/добу [76].

У результаті цих випробувань дійшли висновку [70], що впровадження нанофільтрування в технологію питної водопідготовки визначається двома критеріями: якістю початкової води та вимогами до якості питної води. Нанофільтрування, забезпечуючи часткову демінералізацію води, спроможне в одну стадію обробки забезпечити безреагентне пом'якшення поверхневих вод (за рахунок зменшення сульфатної та карбонатної жорсткості), ефективно вилучити мікродисперсні завислі частинки та знезаразити воду.

У 1992–1993 рр. в передмістях Парижа (Мері-сюр-Уаз і Овер-сюр-Уаз) у філіалі компанії CGE було розроблено, побудовано і запущено (компанія OTV) експериментальну нанофільтрувальну установку, що складається з двох блоків продуктивністю по 75 м<sup>3</sup>/год й призначена для глибокої очистки й знезараження річкової (р. Уаза) води (максимальне видалення завислих частинок, бактерій, вірусів, мікроводоростей, пестицидів тощо) без використання хлору [70, 79–81]. В напіввиробничій установці застосовуються мембранні модулі рулонного типу, дегазатор для видалення CO<sub>2</sub> та пристрій для коригування рН до ~ 8,5. З дозволу санітарних органів Франції (Міністерство охорони здоров'я, Вища громадська гігієнічна рада) і під їх жорстким контролем якості питної води на всіх ділянках (від місця її виробництва до надходження до споживача) були здійснені протягом 1991–1993 рр. нанофільтрувальна підготовка питної води та її подача в містечко Овер-сюр-Уаз. Упродовж року 6 000 жителів містечка вживали питну воду, яку не обробляли хлором та іншими знезаражуючими реагентами. Вода надходила з водоочисної станції Мері-сюр-Уаз, де містилася напівпромислова нанофільтрувальна установка. Жителі містечка і санітарні органи Франції практично одразу відзначили, що суттєво покращилась якість питної води, зник присмак хлору, суттєво покращилися органолептичні властивості води: вона стала більш м'якою, знизилася витрати мила і миючих засобів у побутових умовах, зникло явище відкладання солей (накипу) на стінках кухонного посуду [81]. Санітарний контроль підтвердив повну відсутність у воді бактерій та вірусів, пестицидів та гербіцидів, суттєве зниження біоплівки в мережах розподілу, високу стабільність хімічного складу питної води [79–81].

За результатами річних випробувань установку було здано в промислову експлуатацію і прийнято рішення про використання нанофільтрування на новій водопровідній станції з продуктивністю 200 тис. м<sup>3</sup>/добу [71] та про розширення водоочисної станції Мері-сюр-Уаз з 270 до 400 тис. м<sup>3</sup>/добу з використанням нанофільтрувальної технології [79], що позитивно позначиться на якості водопостачання північної частини Парижа.

Компанія OTV запатентувала спосіб нанофільтрувальної доочистки питної води, який передбачає підкислення води, її передочистку через два мікрофільтри з діаметром пор 10 та 5 мкм, введення інгібітору відкладення осадів важкорозчинних сполук, нанофільтрування, дегазацію та коригування рН до 8,2 [71]. Цей спосіб пови-

нен замінити доочистку, яка тепер широко використовується з застосуванням озону та гранульованого активованого вугілля.

Компанія Дегремон (Франція), яка досягла значних успіхів у розробці та практичному використанні ультрафільтрування і нанофільтрування для одержання питної води, почала широкое виробництво та поставку цих установок як у Франції, так і США [70].

Отже, наявні літературні дані переконливо свідчать, що впровадження безреагентної нанофільтрувальної технології суттєво підвищує якість підготовки питної води.

Перспективними для очистки природних вод від колоїдів, іоногенних органічних речовин (ПАР, барвники, гумінові та фульвові речовини, білки, карбонові кислоти тощо) та мікроорганізмів, а також від солей жорсткості, важких металів та багатозарядних іонів неорганічних сполук є заряджені мікро- та ультрафільтрувальні мембрани [82–88]. Причиною підвищеної затримувальної здатності цих мембран є різке зниження вірогідності попадання іоногенних части-

нок в пори мембрани внаслідок дії сил електростатичного відштовхування між одноіменно зарядженими поверхнею мембрани та частинками. Причому ефект зростання затримки іоногенних речовин на заряджених мембранах найбільший у тому випадку, коли розмір частинок розчиненої речовини суттєво менший (на порядок і більше) від діаметра пор мембрани.

Формування заряду на поверхні пористих мембран забезпечує досить ефективну затримку солей і, отже, заряджені тонкопористі ультрафільтрувальні мембрани можуть бути використані не тільки для очистки води від іоногенних органічних сполук з відносно великими молекулярними масами, але й для знезалення маломінералізованих жорстких вод (табл. 8). Як видно з даних цієї таблиці, затримка солей на заряджених мембранах вища для несиметричних електролітів з багатозарядними коіонами і збільшується зі зменшенням загальної концентрації солі. Це викликано тим, що іонна селективність цих мембран визначається подвійним електричним шаром, який виникає при контакті пористої за-

Таблиця 8  
Солевміст (%) води після обробки на стандартних та заряджених ультрафільтрувальних мембранах при об'ємному потоці  $6 \cdot 10 \text{ м}^3/\text{с}$ ; тиск = 0,5 МПа

С, моль/л електроліту	KCl		K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		MgCl <sub>2</sub>	
	1	2	1	2	1	2
Полісульфонова мембрана: 1 – стандартна; 2 – сульфована (негативно заряджена)						
$3 \cdot 10^{-4}$	26	48	51	71	12	12
$1 \cdot 10^{-3}$	20	39	–	63	4	6
$1 \cdot 10^{-2}$	6	18	22	44	3	5
	NaCl		Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		MgCl <sub>2</sub>	
Ацетатцелюлозна мембрана: 1 – стандартна УАМ-100; 2 – з прищепленою ПАК (негативно заряджена)						
$1 \cdot 10^{-3}$	18	76	23	96	25	27
$2 \cdot 10^{-3}$	14	72	20	89	23	19
$3 \cdot 10^{-3}$	14	60	18	81	20	17
$4 \cdot 10^{-3}$	12	53	18	74	20	14
$1 \cdot 10^{-2}$	6	39	15	57	17	12
Ацетатцелюлозна мембрана: 1 – стандартна УАМ-100; 2 – з прищепленим ДМАЕМА (позитивно заряджена)						
$1 \cdot 10^{-3}$	20	66,7	27	61	24	91,6
$2 \cdot 10^{-3}$	20	60,9	22	39	23	91,4
$3 \cdot 10^{-3}$	17	48,7	19	32	20	87,3
$4 \cdot 10^{-3}$	14	40,7	18	23	20	85,0
$1 \cdot 10^{-2}$	11	24,8	14	17	16	70,2
Мембрана на основі кополімеру акрилонітрилу з 2-М-5-ВП (позитивно заряджена)						
	NaCl		CaCl <sub>2</sub>			
$1 \cdot 10^{-3}$	88,2		97,1			
$2 \cdot 10^{-3}$	84,0		97,0			
$3 \cdot 10^{-3}$	80,4		97,0			
$4 \cdot 10^{-3}$	75,5		95,0			
$1 \cdot 10^{-2}$			92,0			

рядженої мембрани з розчином електроліта. Однією із умов ефективного функціонування таких мембран є перекриття їх пор дифузною складовою подвійного електричного шару. Товщина останнього зменшується зі збільшенням концентрації електроліту і заряду протиіону, що й відображається в закономірностях затримки солей на заряджених мембранах.

Таким чином, суттєвою особливістю заряджених мембран є те, що при низьких робочих тисках (0,05—0,5 МПа) й при досить високих продуктивностях по фільтрату, характерними для мікро- та ультрафільтрувальних мембран, вони здатні ефективно очищати воду від ряду речовин, які мають заряд, і, отже, можуть успішно використовуватися для фінішної доочистки питної води та суттєвого покращання її якості.

Ще одним перспективним методом для одержання чистої води, що після коригування її мінерального складу може використовуватися як питна, є мембранна дистиляція [89]. Суттєвими перевагами мембранної дистиляції перед іншими, в тому числі й мембранними, методами є можливість отримання дуже чистої води в одну стадію з різної початкової якості, в яких, однак, містяться тільки нелеткі розчинені речовини і немає розчинених ПАР будь-якої хімічної природи та будови. Крім цього, мембранна дистиляція забезпечує високий ступінь відбору чистої води (90—95 %), концентрування домішок до утворення практично насичених їх розчинів при відсутності різниці тисків по обидва боки мембрани, оскільки рушійною силою процесу є різниця парціальних тисків пари води по обидва боки гідрофобної мікрофільтрувальної мембрани, яка забезпечується різницею температур (гарячий бік мембрани — 50—80 °С, холодний — 20—25 °С).

Мембранна дистиляція була випробувана при одержанні чистої та знесоленої води з морської [90—93] та артезіанської [94]. Відзначено стабільно високу якість дистиляту незалежно від концентрації підживлюючого розчину [93]. Мембранно-дистиляційне опріснення води передбачає попереднє її очищення лише від механічних домішок. Тривала експлуатація, як правило, супроводжується зниженням продуктивності мембран внаслідок забруднення їх поверхні, однак цей процес відбувається набагато повільніше, ніж у випадку інших мембранних процесів (наприклад, зворотного осмосу). Відновлення продуктивності мембран після опріснення артезіанської води досягається їх обробкою солянокислим розчином [94]. Необхідно зазначити, що оскільки цей метод опріснення вивчається порівняно недавно (5—10 років), то практично немає результатів довгострокових випробувань мембранної дистиляції стосовно забруднення і регенерації мембран.

ранної дистиляції стосовно забруднення і регенерації мембран.

### *Локальні, контейнерні та побутові мембранні установки для очистки й опріснення води*

Для забезпечення мобільних об'єктів (кораблі, підводні човни, космічні станції, автомобільні та залізничні платформи тощо), а також невеликих населених пунктів та окремих будинків високоякісною питною водою розробляються і виробляються контейнерні і локальні комунальні та побутові пристрої доочистки і очистки природних вод [13—16].

Так, в Індії [44, 45] та інших країнах (США, Великій Британії, Франції, Німеччині, країнах Скандинавії) [14, 46, 47, 62, 64—66] проводяться роботи, спрямовані на створення локальних мембранних установок для очистки та опріснення води (іноді з використанням відновлюваних джерел енергії — вітро- та геліоустановок [9, 41, 53, 55]) з продуктивністю до 10—1000 м<sup>3</sup>/добу.

Зокрема, досвід Індії [44, 45] щодо використання мембранних установок у сільських населених пунктах, яких у країні 2,27 млн, де поверхневі й артезіанські води на невеликих глибинах бактеріально та біологічно забруднені й містять неприпустимо високі концентрації нітратів і фтору, а артезіанські води на більших глибинах, хоча й бактеріологічно стерильні, але містять значні концентрації солей (5—10 г/л), свідчать про доцільність будівництва зворотноосмотичних установок з продуктивністю до 100 м<sup>3</sup>/добу. Досвід експлуатації таких установок протягом кількох років потверджує про їх надійність та доцільність подальшого розвитку робіт в цьому напрямі.

Попередня очистка води на цих установках відбувається в результаті її фільтрування через піщані та патронні фільтри з наступним підкисленням і введенням інгібітора осадоутворення [44], причому реагенти подаються вручну, що вважається переважним в умовах індійського села. В установках використані ацетатцелюлозні плоскокамерні та трубчасті модулі з реальною затримкою солей 92 та 90 % відповідно.

Зважаючи на техніко-економічні показники, визнано доцільним будівництво таких мембранних установок з продуктивністю 100 м<sup>3</sup>/добу з розрахунку обслуговування однією установкою жителів кількох сіл, оскільки зі збільшенням продуктивності установок капітальні витрати хоча й зростають, однак собівартість опрісненої води знижується [45].

Ряд європейських фірм (Rochem, Preussag, Technisch Handelsbureau Franken та ін.) [13—16] спеціалізуються на випуску компактних контей-

нерних мембранних установок для очистки та опріснення солених і солонуватих підземних і озерних, річкових та ґрунтових вод, які використовуються в локальному водопостачанні на суші та кораблях. Зокрема, для суден випускається серія компактних зворотноосмотичних установок з 4 базових моделей [16]: Aqua Frame і Aqua Compact — установок різної продуктивності; Aqua Module — установка для яхт з автономним джерелом електричного живлення; Aqua Cube — найменша зворотноосмотична установка для малих, в тому числі і для парусних, суден.

На суші використовуються контейнерні станції водопідготовки фірми Preussag [13], котрі уніфіковані відповідно до системи PAC-PREUSSAG AQUA-TECH КОМПАКТ. Система складається з 4 типів станцій: SAG — для водопідготовки ґрунтових вод; SAO — поверхневих вод; SRG — вод біля впадіння рік в море; SRO — для очистки та опріснення морської води. Всі типи установок придатні для роботи з достатньо забрудненими природними водами, з максимальним вмістом таких речовин (в мг/л): сухий залишок — 1000; залізо — 10; нітрати — 50; марганець — 2; амоній — 0,5; гумінові кислоти — 0,3; сірководень — 1,0. Очищена вода відповідає вимогам ВОЗ.

В умовах, що склалися, коли міські водопроводи в Україні через їх технічну та технологічну застарілість та відсутність коштів на їх реконст-

рукцію не можуть забезпечити подачу доброякісної питної води, набули широкого розповсюдження індивідуальні побутові та колективні пристрої доочистки, очистки та опріснення води (табл. 9) [102 — 104]. Цей перспективний, хоча й паліативний напрям, однак, не може бути альтернативою, як показує європейський досвід [105, 106], удосконаленню та розвитку централізованих систем питного водопостачання.

Серед численних побутових установок для доочистки водопровідної води приблизно 90—95 % є різними типами й конструкціями сорбційних та іонообмінних апаратів. Разом з тим значно розповсюдилися мембранні (мікро-, ультра та нанофільтрувальні зворотноосмотичні та електродіалізні) побутові апарати і установки, коротким розглядом яких ми обмежимося в рамках даної статті.

Вибір мембранного методу очистки водопровідної води в домашніх умовах досить жорстко обмежений реальним тиском води в водопровідній мережі, який в містах України в середньому не перевищує 0,05—0,5 МПа. Мікро- і ультрафільтрування (робочий тиск 0,05—0,5 МПа) та частково нанофільтрування (робочий тиск 0,4—1,0 МПа) відповідають цим вимогам і можуть бути використані без додаткових пристроїв (насосів) для доочистки водопровідної води. Оскільки внаслідок мікрофільтрування вода очищається тільки від механічних за-

Таблиця 9

*Побутові мембранні апарати та установки для очищення і опріснення води (мікро-, ультра-, нанофільтрувальні і зворотноосмотичні)*

Назви апаратів та установок	Фірма-виготовлювач	Тип елемента	Продуктивність, робочі параметри	Речовини, які затримуються
1	2	3	4	5
Eglstat Prima-4, -5, -6, -7, -8 Plus	Elga, Великобританія	Рулонний ЗО-елемент	30, 60, 90, 120, 140 л/год. при тисках 0,007–0,14 МПа	Солі – 99 %, мікроорганізми – 100 %
Spiraltek	Fastek, США	Рулонний ЗО-елемент		Солі – 99 %, мікроорганізми – 100 %
ЗО-фільтр	Teledyne Water Pik, США	Рулонний ЗО-елемент	30 л/добу	Солі – 99 %, мікроорганізми – 100 %
ЗО-установка	Hydronautics Membrane, США			Солі – 99 %, мікроорганізми – 100 %
	Culligan, США			Солі – 99 %, мікроорганізми – 100 %
	Bicarro, Італія	3-ступеневий апарат: механічний фільтр, ЗО-елемент, УФ-знезараження	10–15 л/добу	Солі – 99 %, мікроорганізми – 100 %
НФ-модуль	Lehmann und Voos, ФРН	Мембрана 1,5–8 м <sup>2</sup> , 0,6–1,6 МПа		
Revosin Standard	Intec, ФРН	МФ- і ЗО-мембрани, 0,3–1,5 МПа; 400×400×150		

Продовження таблиці 9

1	2	3	4	5
Mini-RO	Berkefeld Filter, ФРН	ЗО-мембрана, 1,6 МПа	5–100 л/год; 50–60 л/год; 70–100 л/год	
Torevino Super Slim	Torey, Японія	Порожнинно- волоконні модулі; ресурс – 8 місяців		
Cleanui Demi	Minisudishi Reyon, Японія	Порожнинно- волоконні модулі; ресурс – 8 місяців		
Mizutoria TK 25	Mitsushita, Японія			
Ручеек-1	АТ “Полимерсинтез”, Росія	УФ-модуль, активоване вугілля; 540 × 70; 1,6 кг	6–30 л/год; тиск – 0,05–0,2 МПа	Нітрати, пестициди, важкі метали, колоїди, мікроорганізми
Ручеек-2	Там само	НФ-модуль; активоване вугілля; 540 × 70; 1,6 кг	4–18 л/год; 0,3–0,6 МПа	Те саме
Ручеек-4	— >> —	УФ-модуль; 1500 × 150; 12,5 кг	90–360 л/год; 0,05– 0,2 МПа	— >> —
Ручеек-5	— >> —	НФ-модуль; 1500 × 150; 12,5 кг	90–100 л/год; 0,3–0,6 МПа	— >> —
Ручеек-6	— >> —	ЗО-модуль; 350 × 400 × 1500; 63 кг	50–90 л/год 0,6–1,0 МПа	Солі – 90 %
Ручеек-11	— >> —	УФ-модуль, 450 × 100 × 70; 3,6 кг	6–30 л/год; 0,05–0,2 МПа	
Ручеек-12	— >> —	НФ-модуль; 450 × 100 × 70; 3,6 кг	4–18 л/год; 0,3–0,6 МПа	
Супер-фільтр “Богатырь”	— >> —	3 блоки: механічний, адсорбційний, зворотньоосмотичний; 370 × 110 × 80; 1,35 кг	0,1–1,0; 1,0–3,0; 3,0–5,0 л/год; тиск 0,01–0,4 МПа	Солі – 99–100 %; мікроорганізми, органічні речовини, колоїди – 100 %
Вита	— >> —	МФ-модуль; тиск 0,01–0,06 МПа; 130 × 90 × 95; ресурс 6–9 місяців	500–600 л/год	Колоїди, мікроорганізми
Кримська росинка	НВП “Симплекс”, Україна	МФ-модуль (трекова мембрана); 190 × 210 × 35; 0,5 кг	16,0 л/год	Колоїди, мікроорганізми
Наяда-2, -4	АТ “Наяда”, Росія	УФ-модуль порожнинно- волоконний; тиск 0,15 МПа; 100 × 100 × 500; 4,0 кг	50,0 л/год	Колоїди, мікроорганізми, важкі метали, пестициди, органічні речовини
Радуга-М	АТ “Аквариус”, Росія	УФ-модуль	5,0 л/год; ресурс 3 000 л	Те саме
Electrolux	Electrolux, Швеція	ЗО-модуль		Солі – 99 %; мікроорганізми, важкі метали – 100 %
EPRO-150	Delta, США	ЗО-модуль; 380 × 160 × 970; 18 кг	24 л/год; тиск 1,3 МПа	Солі – 94–99 %; хлор – 95 %; нітрати – 94 %; важкі метали – 99 % радіонукліди – 80 %; органіч. реч. – 99 %; бактерії – 99,9 %



Продовження таблиці 9

1	2	3	4	5
EPRO-150 BW	Delta, США	30-модуль; 380×160×970; 30 кг	24 л/год; тиск 2,3 МПа	Солі – 94–99 %; хлор – 95 %; нітрати – 94 %; важкі метали – 99 %; радіонукліди – 80 %; органіч. реч. – 99 %; бактерії – 99,9 %
EPRO-150 SW	Delta, США	30-модуль; 380×500×250; 32 кг	16 л/год; тиск 6,1 МПа	Те саме
FILOPUR	FILOPUR AG, Швейцарія	УФ-модуль	18 л/год тиск 0,3 МПа	Феноли, пестициди, гербіциди
DTK	Rochem, ФРН	DT-модуль; композиційна мембрана СВ-30; тиск 0,2–1,0 МПа; 5,0 кг	10–15 л/год (0,4 МПа); 20–30 л/год (0,8 МПа); відбір чистої води 90–97 %	Солі – 95 – 99 %; колоїди, мікроорганізми – 100 %
Nimbus CS-1, -2, -3	Culligan, США	УФ-модуль; тиск до 0,4 МПа	10–60 л/добу	Колоїди, мікроорганізми
Водолей	АТ "Точрадиомаш", Росія	УФ-модуль; 194×80; 0,5 кг	60 л/год	Мікроорганізми, пестициди, солі важких металів

бруднень і завислих частинок, то для очистки від полімерних сполук, колоїдів, важких металів, солей жорсткості, радіонуклідів тощо ефективними є ультра- і нанофільтрування. Часткове видалення (на 40–60 %) інших солей (типу хлориду натрію) забезпечується нанофільтруванням. Зворотньоосмотичні апарати, які працюють при тисках 1,5–2,0 МПа і додатково потребують нагнітальних насосів, видаляють із води всі домішки, в тому числі й солі, на 99–100 % (табл. 9).

З появою наприкінці 80-х років промислових нанофільтрувальних мембран для низьконапірного зворотного осмосу і в зв'язку зі значним погіршенням якості води почалося виробництво таких мембранних пристроїв для очистки води, які можна приєднати безпосередньо до водопровідного крана або встановити під мийкою, на стіні, в шафах тощо [95–104]. Функціональні характеристики таких пристроїв коротко викладено в табл. 9.

Слід зауважити, що більшість побутових мембранних апаратів не має пристроїв для регулювання мінерального складу очищеної та опрісненої води, залежно від якого вода визначається як м'яка, дуже м'яка або навіть дистильована [105]. Крім цього, побутові фільтри, в тому числі й адсорбційні, потребують контролю та регенерації, що в домашніх умовах не завжди можливо. Інакше вони можуть стати джерелом вторинного забруднення води.

Нині якість води в розвинених країнах суттєво покращилася: застосовуються нові технології очистки [47, 56–58], внаслідок чого якість води відповідає стандартам Європейського Союзу та США. Отже, необхідність в очисних фі-

льтрах на водопровідних кранах у цих країнах зникає [105], і ринок збуту побутових апаратів, в тому числі й мембранних, перемістився у країни Далекого Сходу, Південно-Східної Азії, Центральної та Східної Європи, в тому числі і в Україну, Росію та інші країни колишнього Радянського Союзу, де якість водопровідної води, як правило, не відповідає європейським нормам.

### *Санітарно-гігієнічні аспекти використання мембранних технологій в підготовці питної води*

Застосування мембранних технологій дозволяє досить ефективно очищати природні води від домішок різної природи, в тому числі й солей, тому при використанні зворотньоосмотичних, нанофільтрувальних і електродіалітичних установок для одержання питної води у більшості випадків порушується сольовий баланс води, необхідний для нормальної життєдіяльності людини. Відомо [107], що споживання навіть м'яких природних вод (жорсткість до 3 мг-екв/л) призводить до порушення водно-сольового балансу в організмі людини, зростання кількості серцево-судинних та інших захворювань. Так, в Глазго (Велика Британія), де жорсткість води одна з найнижчих у країні, смертність від серцево-судинних захворювань на 50 % вища, ніж в Лондоні, населення якого постачається водою, що має більш високу жорсткість, а в цілому для Великої Британії ця різниця становить 40 %. Отже, британські фахівці вважають, що питна вода повинна мати оптимальний мінеральний склад (табл. 3).

До недавнього часу кондиціювання питної води за мінеральним складом не мало значного практичного застосування через відсутність потужних централізованих систем опріснення води гермічною дистиляцією, виморожуванням, іонним обміном та мембранними методами (зворотним осмосом, електродіалізом, нанофільтруванням та мембранною дистиляцією). Нині ця проблема набула більш практичного значення, оскільки в останні роки загальні потужності опріснювальних установок подвоювалися приблизно кожні три роки й до 2000 року їх продуктивність може перевищити 10—15 км<sup>3</sup>/рік [105].

Крім цього, не було науково обґрунтовано оптимальний вміст солей і їх склад у питній воді, їх фізіологічну функцію в людському організмі та нормування хімічних макро- і мікроелементів.

Відповідно до санітарно-гігієнічних норм питна вода після мембранної очистки та опріснення повинна бути обов'язково знезаражена (хлор, озон, інші окислювачі, УФ-опромінення тощо) [27, 28, 38, 109, 110] та кондиціонована за мінеральним складом. Кондиціювання води, яке включає кальцинування, карбонізацію, магnezіальне збагачення, мінералізацію, стабілізацію, регулювання рН та температури [107, 109—112], є відносно новою технологією і тому вивчена ще недостатньо. Обов'язковим в цьому напрямі досліджень має бути нормування ряду нових показників якості опрісненої води: мінімально необхідного і максимально допустимого рівнів мінералізації та вмісту кальцію; максимально допустимого вмісту натрію, бору, бромі; мінімально необхідних і максимально допустимих меж лужності; мінімально необхідного вмісту магнію; максимально допустимої температури (табл. 3). Ці показники наведені у виданому ВОЗ "Посібнику з гігієнічних аспектів опрісненої води", а також в ряді рекомендацій НДІ загальної та комунальної гігієни ім. А. І. Сисіна (м. Москва, Росія), НДІ гігієни ім. Ф. Ф. Ерісмана (м. Москва, Росія), Національного медичного університету ім. О. О. Богомольця (м. Київ, Україна), НДІ експериментальної біології та медицини Сибірського відділення РАН та ін. На сьогоднішній день в Україні та інших країнах СНД немає санітарних стандартів, які би передбачали нормування мінімально допустимих і оптимальних рівнів біологічно важливих у фізіологічному відношенні компонентів питної води.

Зрозуміло, що деякі мембранні методи очистки та опріснення води, насамперед, зворотноосмотичний і мембранно-дистиляційний, вимагають додаткової обробки опрісненої води, в тому числі й у побутових умовах, з метою коригування її мінерального складу.

Мінералізувати воду можна шляхом дозованої введення у неї твердих солей або їх концентрованих розчинів, а також контактуванням води з природними (мармур, вапняк, доломіт) або синтетичними мінералами. Карбонізують воду (іонами  $\text{HCO}_3^-$  та  $\text{CO}_3^{2-}$ ) за допомогою соди, кальцинованої соди, барботажу вуглекислим газом або повітрям. Для цих цілей розроблені відповідні промислові технології та установки [107, 113]. Важливим моментом є також фторування та йодування очищеної і опрісненої води, а також введення срібла з метою її знезараження та консервації (табл. 3) [107].

В науковій літературі дані про коригування мінерального складу води після її промислової мембранної очистки та опріснення, на жаль, доволі скупи й нечисленні [109], а після очистки у побутових апаратах практично відсутні. Зокрема, вказується [27], що на установці опріснення морської води в Рас-Абу-Джарджур (Бахрейн) після зворотноосмотичного опріснення проводиться її підкислення, віддування сірководню, вапнування і карбонізація. На зворотноосмотичній станції Доха (Кувейт) [28, 38] після опріснення морська вода хлорується та вапнується (витрати вапна — 14,7, хлору — 0,1 г/м<sup>3</sup>). З метою зниження агресивності води і приведення її складу у відповідність до міжнародних норм випробувано три варіанти додаткової обробки води [38]: на першій лінії (порожнинно-волоконні елементи) — вапном, на другій (рулонні елементи) — вапняком і на третій (плоскокамерні і рулонні елементи) — їдким натром (рис. 6—8) [38].

Важливою є також температурна передісторія опрісненої води. Лабораторні дослідження показали [107, 114, 115], що тала вода відрізняється від звичайної за структурою та наявністю певних мікроелементів (наприклад, фтору). Висловлено припущення, що вода з упорядкованою особливою структурою активно бере участь у біоенергетичних процесах та підвищує фізичні ресурси живого організму. Зважаючи на це, останнім часом освоюються технології, в яких

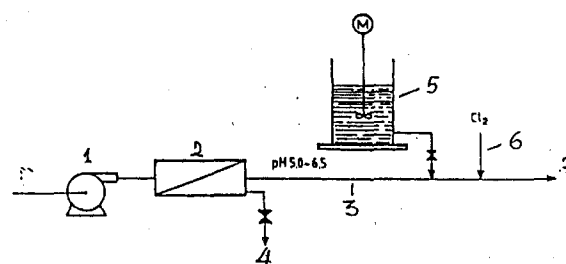


Рис. 6. Схема обробки води після зворотноосмотичного опріснення (рулонні елементи) з використанням вапняку (доломіту) [38]: 1 — насос; 2 — мембранні модулі; 3 — пермеат; 4 — концентрат; 5 — обробка вапняком (доломітом); 6 — хлорування; 7 — питна вода

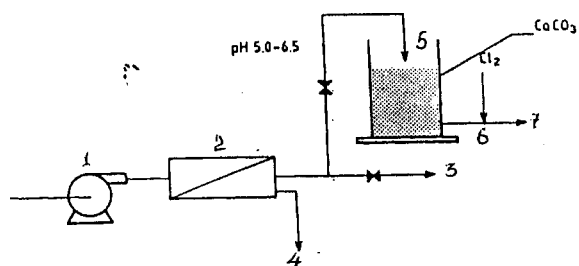


Рис. 7. Схема обробки води після зворотньоосмотичного опріснення (порожнинні волокна) з використанням вапна [38]: 1 — насос; 2 — мембранні модулі; 3 — лінія пермеату; 4 — концентрат; 5 — обробка вапном; 6 — хлорування; 7 — питна вода

після опріснення і коригування мінерального складу передбачено заморожування води: вприскування в холодильні камери з наступним її повільним таненням. Тала вода в розфасованому вигляді під певними фірмовими назвами користується підвищеним попитом на ринку техногенної питної води.

Як вже відзначалось, у більшості побутових мембранних установок не передбачено коригування складу води після її очистки і опріснення. Іноземні фільтри, як правило, не мають відповідної вітчизняної сертифікації, оскільки торговельні фірми посилаються на результати експертизи, виконаної в країні-виробнику. Однак слід зауважити, що якість води в умовах водопостачання в Україні суттєво відрізняється від європейської або американської. Як правило, імпортні побутові фільтри розраховані на очистку, що відповідає більш високим санітарно-гігієнічним вимогам, ніж в Україні, а тому неспроможні очистити до належного рівня вітчизняну забруднену, в тому числі й водопровідну, воду. Зворот-

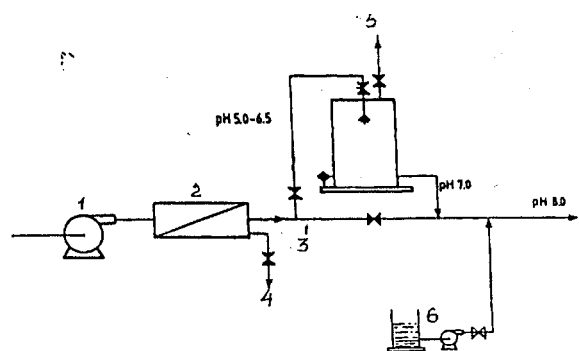


Рис. 8. Схема обробки води після зворотньоосмотичного опріснення (плоскокамерні та ролонні модулі) з використанням декарбонізації та каустичної соди [38]: 1 — насос; 2 — мембранні модулі; 3 — пермеат; 4 — концентрат; 5 — декарбонізатор (продування); 6 — система введення каустичної соди; 7 — питна вода

ноосмотичні мембранні апарати іноземного виробництва з високоефективними мембранами (затримка солей до 99 %) не мають, як правило, пристроїв для коригування мінерального складу води. Вони ефективно очищують природну й водопровідну води від більшості не тільки шкідливих, але й фізіологічно важливих компонентів (солей жорсткості, мікроелементів тощо) і фактично перетворюють її на дистилат, який більш небезпечний для здоров'я людини, ніж недостатньо очищена вода. Такі зворотньоосмотичні установки можуть бути використані за певних умов лише там, де вміст солей в природній воді значно перевищує (в 3—5 разів) норму, тобто при опрісненні соляних підземних та морських вод, однак і в цьому разі необхідне часткове коригування мінерального складу питної води [28, 38].

1. Ferguson P. V. // Desalination.— 1980.— 32, N 1—3.— P. 5—11.
2. Parkinson G. // Chem. Eng. (USA).— 1983.— 90, N 11.— P. 26, 27, 29, 31.
3. Chem. and Eng. News. 1986.— 64, N 18.— P. 39—40.
4. Mar. Technol.— 1987.— 18, N 3.— P. 97.
5. Танугути Н. // Кау рачу.— 1987.— 24, № 3.— С. 2—4.
6. J. Amer. Water Works Assoc.— 1989.— 81, N П.— P. 30.
7. Bums O. K. // Amer. Waterworks Assoc.— 1989.— 81, N П.— P. 38—42.
8. Wangnick K. // Desalination.— 1991.— 81, N 1—3.— P. 19—37.
9. Пилипенко А. Т., Вахнин І. Г., Максим В. І. // Хімія і технологія води.— 1991.— 13, № 8.— С. 693—727.
10. Van Dijk J. C., Munnweke B. R., Kramer B., Wouters J. W. // Desalination.— 1991.— 81, N 1—3.— P. 229—247.
11. Van Dijk J. C., Munnweke B. R., Kramer B. // Tijdschr. Watervoorz. en afvalwaterbehandel.— 1990.— 23, N 11.— P. 47—51.
12. Conlon W. J., McClellan S. A. // J. Amer. Water Works Assoc.— 1989.— 81, N 11.— P. 47—51.
13. Козловский И. Обзор пол. техн.— 1989. № 4.— С. 25—26.
14. Maschek M. E. // Water Eng. and Manag.— 1990.— 137, N 4.— P. 33—35.
15. Autom. nav.— 1991. 22, N 4.— P. 13.
16. Holl. Shipuild.— 1994.— 42, N 11.— P. 46—47.
17. Adnikary S. K., Harkare W. P., Govindan K. P. // Indian J. Technol.— 1987.— 25, N 2.— P. 79—82.
18. Techno Jap.— 1992.— N 11.— P. 78.
19. Gummings Ch. M., Riedinger A. P. // Int. Water Conf.: Offic Proc. 48th Annul. Meet., Pittsburgh, 1987.— P. 456—465.
20. Grigoleit J., Scottler B. // Desalination.— 1987.— 63.— P. 209—215.
21. Ebrahim S., Malik. // Desalination. 1987.— 63.— P. 95—107.
22. Ивахасу Т., Нагау М. // Нихон кайсуй гакаси.— 1990. 44, № 2.— С. 146—151.

23. Trois O.— 1991.—N44.—P. 14—15.
24. И\*ere#././Desalination.— 1989.— 74, N 1—3.— P. 183—185.
25. Ind. bev.— 1991.—20, N 116.—P. 541—543.
26. Techno Jap.— 1991.— 24, N 9.— P. 84.
27. AlArrayedhy M. II Desalination.— 1987.—63.—P. 81—94.
28. Nagel R. II Desalination.— 1987.— 63,— P. 225— 246.
29. Appelegate L. E., Erkenbrecher C. W. II Desalination.— 1987.—65.—P. 331—359.
30. Hassan A. M., Al Jarran S., FI Lohibi T. et al. // Desalination.— 1989.—74, N 1—3.— P. 37—50.
31. Величанская Л. А., Духин С. С., Соломенцева И. М. II Химия и технология воды.— 1990.— 12, № 10.— С. 907—918.
32. Ludwig H. //Desalination.— 1981,—36,—P. 153—178.
33. Adin A., Klein-Banay C II Desalination.— 1986.— 56. P. 227—241.
34. Nada N., Zahrani A., Ericsson P. K. II Desalination.— 1987.—66.—P. 303—318.
35. Malik A. L. A., Mousa K. M., Younan N. G., Rao B. J. R. II Desalination.— 1987.— 63.— P. 163—192.
36. Light W. G., Taylor Z. B., Riedinger A. B. II Reverse Osmosis and Ultrafiltr. Symp. 188th Meet. Amer. Chem. Soc. Philadelphia, 1984.—Washington, 1985.—P. 247—260.
37. Redondo J. A., Frank K. F. II Desalination.— 1991.—82, N 1,—P. 31—49.
38. Al Awadi F., Abdel-Jawad M. II Desalination.— 1987.— 63.—P. 109—117.
39. Kuroda O., Takahashi S., Wakamatsu K. et al. II Desalination.—65.—P. 161—169.
40. Пилипенко А. Т., Гребенюк В. Д., Мельник Л. А., Емец Л. В. II Химия и технология воды.— 1988.— 10, № 4.— С. 344—347.
41. Хаимамедов М. А., Арамедов К., Наврузов А. и др. II Мембр.-сорбц. процессы разделения веществ и их применение в нар. хоз-ве: Тез. докл. 4 всес. конф., Батуми, 1988.—Черкассы, 1988.—С. 158—159.
42. Пилипенко А. Т., Гребенюк В. Д., Мельник Л. А. II Журн. приклади, хімії.— 1989.— 62.— № 8.— С. 1727—1731.
43. Adhikary S. K., Tipnis V. K., Harkare W. P. et al. II Desalination.— 1989.—71, N 3.— P. 301—321.
44. Prabhakar S., Patra R. N., Misra B. M., Ramani M. P. S. II Desalination.— 1987.— 65.— P. 361—372.
45. Prabhakar S., Patra R. N., Misra B. M., Ramani M. P. S. II Desalination.— 1989.— 73, N 1—3.— P. 37—46.
46. Water and Waste Treat. (Gr. Brit.).— 1990.— 33, N 2.— P. 20.
47. Dykes G. M., Conlon W. J. II J. Amer. Water Works Assoc.—1989,—81, N П.—P. 43—46.
48. Leitner G. F. //Desalination.— 1987.—63.—P. 135—142.
49. Leitner G. F. II Desalination.— 1991.— 81, N 1—3.— P. 39—48.
50. Sambraile D., Kunst B. II Desalination.— 1991.— 81, N 1—3.—P. 209— 218.
51. Libert J. J. II Ec. ete Cadarache: Soleid serv. Approvisionnement eau pays arides.— Saint Paul les Durance, 1982.— 2.— P. IV/1—IV/11.
52. Gonzater L., Delgado L., Avia F., Mateos J. II 7th E. C. Photovolt. Solar Energy Conf. Proc. Int. Conf., Sevilla, 1986.— Dordrecht, 1987.— P. 240—244.
53. Kufer B., Henbru R. D., Shroot F. P. II Desalination.— 1985.—61.—P. 89—93.
54. Suri R. K., Al Marañe A. M. R., Al Homand A. A., Maheshwari G. P. II Desalination.— 1989.— 71.— N 2.— P. 165—175.
55. Базаров Б. А., Хаммамедов М. А., Арамедов Х., Попруханов А. Мембр.- сорбц. процессы разделения веществ и их применение в нар. хоз-ве: Тез. докл. 4 всес. конф., Батуми, 1988.—Черкассы, 1988.—С. 96—97.
56. Kruithof J. C., Schippers J. C., Van Dijk J. C. II Aqua.— 1994.— 43, N 2,— P. 47—57.
57. Коно Т. II Кенхику сефсуви то хайкан коги.— 1991.— 29, № 11,— С. 51—56.
58. Villessot D. II Techn. sci., meth.— 1990.— N 4.— P. 211—218.
59. Montemarano J. II Water Technol.— 1988.— 11, N 5.— P. 26—28.
60. Wasel-Nielen J., Nix N. II Kraftwerkstechn.— 1989.— 69, N 4.— S. 369—372.
61. Techno Jap.— 1991.— 24, N 3,— P. 61.
62. Жарков В. В. //Экол. аспекты гидравл./Всес. проект.— изыскат. и науч.-исслед. объед. "Союзводопроект".— М., 1990.—С. 60—66.
63. Брык М. Т., Нугматуллин Р. П. II Химия и технология воды.— 1995.— 17, № 4.— С. 375—397.
64. Якушев Н. М. II Проблемы опреснения минерализ. вод для с.-х водоснабжения. М., 1968.— С. 17—21.
65. Степанов В. Г., Рахманин Ю. А., Гневушев В. М. и др. II Мембр.-сорбц. процессы разделения веществ и их применение в нар. хоз-ве: Тез. докл. 4 всес. конф., Батуми, 1988.— Черкассы, 1988.— С. 94—95.
66. Милов М. А. II Там же.— С. 87—88.
67. Rautenbach R., Kopp W. II Chem.— Ing.— Techn.— 1988.—60, N 9.—S. 715—716.
68. Herrmann C. C., Laird A. D. K. II Desal. Repf. Calif. Water Res. Cent.— 1985.— N 78,— P. 15—16.
69. Kneifel K., Martens U., Behling R.— D., Vogel L. //GKSS (Rept).— 1990,— N E32.— S. 1—29.
70. Mandra V., Anse/me Ch., Daniel L. II Eau, ind., nuisances.— 1993, N 161.— P. 54—58.
71. Trois O.— 1993.—N 49.—P. 5—6.
72. Conlon W. J. //Desalination.— 1985.—56.—P. 203—226.
73. Cadotte J., Fonster R., Kim M. et al. II Desalination. 1988,—70, N 1.—P. 77—88.
74. Triksson P. II Environ. Progr.— 1988.— 7, N 1.— P. 58—62.
75. Watson B. M., Hornburg C. D. II Desalination.— 1989.— 72, N 1—2.—P. 11—22.
76. Trois O.— 1992.— N 47.— P. 8.
77. Pehers C. J. N., de Rijk J. W., Schonewille H., Zwijnenburg A. II I Eng. of Membrane Processes II (Environmental Application).— II Ciocco, 1994.— 6 p.
78. Rautenbach R., Groschla. //Desalination.— 1990.— 77.— P. 73—81.
79. Techn., sci., meth.— 1992.—N 12.— P. 643.
80. Courants.— 1992.— N 18.— P. 16.
81. Trois O.— 1994.— N 51.— P. 3.
82. Брык М. Т., Цапюк Е. А. Ультрафильтрация.— Киев: Наук, думка, 1989.— 288 с.
83. Нугматуллин Р. П., Брык М. Т. II Докл. АН УССР. Сер. Б.— 1989.— № 2.— С. 47—51.
84. Брик М. Г. //Вісн. АН УРСР.— 1990.— № 5,— С. 38—46.
85. Мельник А. Ф., Бурбан А. Ф., Брык М. Т. и др. II Химия и технология воды.— 1990.— 12, № 10.— С. 921—924.
86. Брык М. Т., Бурбан А. Ф., Нугматуллин Р. П., Мельник А. Ф. II Химия и технология воды.— 1991.— 13, № 9.— С. 780—787.

87. *Брык М. Т., Burbana F., Nigmatullin R. R., Melnik A. Ph.* // Ukr. Polym. J.— 1992.— 1, N 1.— P. 63—77.
88. *Брык М. Т.* // Функціональні матеріали.— 1995.— 2, № 3.— С. 301—321.
89. *Брык М. Т., Нугматуллин Р. Р.* // Успехи химии.— 1994.— 63, № 12.— С. 1114—1129.
90. *Sarti G. S., Gostoli C., Matulli S.* // Desalination.— 1985.— 56.— P. 277—286.
91. *Anderson S. I., Kjellander N., Rodejo B.* // Desalination.— 1985.— 56.— P. 345—354.
92. *Onta K., Kiuchi K., Hayano I. et al.* // Desalination.— 1990.— 78.— N 1.— P. 177—192.
93. *Onta K., Hayano L., Okabe T. et al.* // Desalination.— 1991.— 81.— N 1.— P. 107—115.
94. *Schneider K., Holz W., Wollbek R.* // J. Membr. Sci.— 1988.— 39, N 1.— P. 25—42.
95. *Bader M. S. H., Jennings P. A.* // J. Environ. Sci. and Health. A.— 1992.— 27, P. 117—143.
96. *Membr. and Separ. Technol. News.*— 1989.— 7.— P. 11.
97. *Water and Wastewater Inter.*— 1991.— 6, N 3.— P. 59.
98. *Install. Ital.*— 1992.— 43, N 12.— P. 1957.
99. *Filtr. und Separ.*— 1993.— N 6.— S. 336.
100. *Новости мембранной технологии.*— М., 1995.— № 4.— С. 17—18.
101. *Membr. Technol.* 1992.— N 12.— P. 226.
102. *Поворов А. А.* // Вода: экология и технологии. Матер. Междунар. конгресса.— Москва, 1994.— № 2.— С. 646—647.
103. *Ковалёв В.* // Машиностроитель.— 1993.— № 11.— С. 20—21.
104. *Степанов В. Г., Рахманин Ю. А., Патрушева О. А.* и др. // Мембр.-сорбц. процессы и их применение в нар. хоз-ве: Тез. докл. 4всес. конф., Батуми, 1988.— Черкассы, 1988.— С. 165—166.
105. *Головченко О. А., Еремеев В. С., Тимурка И. Д.* // Хим.-фармац. журн.— 1988.— 22, № 1.— С. 112—120.
106. *Newman L. I.* // Water and Waste Treat (Gr. Brit.).— 1993.— 36, N 6.— P. 12—13.
107. *Алексеев Л. С., Гладков В. А.* Улучшение качества мягких вод.— М.: Стройиздат, 1994.— 150 с.
108. *Авакян А. Б., Савин М. В., Эльпинер Л. И.* Опреснение воды в природе и народном хозяйстве.— М.: Наука, 1987.— 172 с.
109. *Applegate L. E. III.* Amer. Waterworks Assoc.— 1986.— 78, N 5.— P. 59—65.
110. *Сато Т., Танака Т., Судзуки Т.* // Ниппон кагаку кайси.— 1991.— № 5.— С. 635—641.
111. *Штанников Е. В., Киселева Н. П., Антонова А. Н., Кочкин В. П.* // Мембр.-сорбц. процессы разделения веществ и их применение в нар. хоз-ве.: Тез. докл. 4всес. конф., Батуми, 1988.— Черкассы, 1988.— С. 174—176.
112. *Ивлева Г. А., Смирнов В. А., Гусева Л. А.* // Глубокая очистка природных вод из источников повышенной загрязненности.— М.: ВНИИВОДГЕО, 1993.— С. 21—23.
113. *Веселое Ю. С., Лавров И. С., Рукобратский Н. И.* Водоочистное оборудование. М., Л.: Машиностроение, 1985.— 230 с.
114. *Антонченко В. Я.* Физика воды.— Киев: Наук, думка, 1986.— 128 с.
115. *Антонченко В. Я., Давыдов А. С., Ильин В. В.* Основы физики воды.— Киев: Наук, думка, 1991.— 668 с.

*Брык М. Т.*

## POTABLE WATER AND MEMBRANE TECHNOLOGIES

The review of state of research and practical use of membrane processes (reverse osmosis, nano-, ultra- and microfiltration, membrane distillation, electrodialysis in technologies of potable water production from sea, underground saline and sweet lake or river waters is given. It is given consideration to technological and economic aspects of use of membrane technologies for potable water production. The special attention is concentrated on sanitary and hygienic as well as medical and biological question of use of membrane processes and technologies for potable water production.