
Розділ 1. Екологічна безпека

УДК 628.1.033

НОВІ ПОГЛЯДИ І ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДГОТОВКИ ПИТНОЇ ВОДИ – ЯК ОСНОВА ЕКОБЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ І ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

М.В. Кравченко, мол. наук. співроб.;
Я.М. Заграй, д-р хім. наук, проф.
(Київський національний університет
будівництва і архітектури)

Наведені обґрунтування процесів в системі «мембрана – вода», методи і прилад для здійснення цих процесів з метою визначення їх механізму, фізичної моделі, суті «питна вода», «природна питна вода» і, відповідно, технології та обладнання для підготовки питної води (розбавлених водних розчинів) на локальному рівні. Визначені умови і особливості використання баромембранних процесів при корегуванні води до показників якості питної води як розбавленого водного розчину.

Приведены обоснования процессов в системе «мембрана - вода», методы и прибор для осуществления этих процессов с целью определения их механизма, физической модели, сущности «питьевая вода», «природная питьевая вода» и, соответственно, технологии и оборудования для подготовки питьевой воды - разбавленных водных растворов на локальном уровне. Определены условия и особенности использования баромембранных процессов при корректировке воды до показателей качества питьевой воды как разбавленного водного раствора.

The following study of processes in the system "membrane - water," methods and apparatus for these processes to determine their mechanism, physical model, "drinking water", "natural drinking water" essence and, accordingly, technologies and equipment for drinking water preparation - dilute aqueous solutions at local level showed. The conditions and peculiarities of baromembranes processes at correcting water quality to drinking water as a diluted aqueous solution defined.

«Відсутність чистої води несе відповідальність за більшу кількість випадків смерті у світі, ніж війна. У деяких країнах половина населення не має доступу до безпечної питної води і, як результат, має поганий стан здоров'я» [1].

Значення питної води і взагалі її сутність як основа вирішення однієї з найгостріших проблем екології – екобезпеки життєдіяльності і здоров'я людини [2] – активно обговорюються на всіх рівнях наукової громадськості та в джерелах літератури і не викликають сумнівів, проте вимагають свого розгляду з точки зору фізико-хімічних, хімічних і фізичних властивостей, якісного і кількісного складу компонентів природного походження і тих, що виникають в результаті науково-технічного прогресу (НТП).

Задача визначення сутності поняття «вода» взагалі і «питна вода» зокрема вимагає наукового її визначення як речовини і є необхідною основою для вдосконалення теоретичних засад, методів та технології підготовки питної води, яка б відповідала сутності «питна вода» природних джерел водопостачання як розбавлених водних розчинів.

Стан наукових знань показує, що термін «очистка» питної води в даному розумінні абсурдний, оскільки головним параметром цього явища є параметр глибини очистки, а «підготовка» питної води не відповідає процесу очистки, який, у випадку розбавлених водних розчинів, які відповідають питним водам, повинен бути замінений поняттям «корегування» питної води як за якісним, так і кількісним складом компонентів і повинні відповідати строго регламентованим показникам.

З наукової точки зору, такі системи водних розбавлених розчинів є відкритими системами з відповідними хімічними, фізичними, фізико-хімічними і біологічними властивостями та структурою, які дуже чутливі до впливу зовнішніх чинників, що призводить до небажаних змін цих властивостей і структури.

З цієї точки зору можна в першому наближенні зрозуміти і поняття «пам'ять» води – це молекулярна пам'ять компонентів природної води до відновлення її структури після усунення впливу зовнішніх факторів, і це є основним позитивним явищем при використанні природних вод як питних.

Саме це положення ще раз підтверджує поняття «питної води» як розбавленого водного розчину, «усунення впливу зовнішніх факторів» і поняття «корегування» якісного і кількісного складу розбавлених водних розчинів та вибір методів їх корегування до значень показників природних питних вод.

Таким чином, підготовка питної води – це і є комплексне усунення впливу на відкриту систему водних розбавлених розчинів, що формувалося протягом століть і яке може вирішуватися тільки на основі системних досліджень складних багатокомпонентних систем, якими є питні води, що включають в себе неорганічну складову, органічну складову та зважені частинки, в тому числі і колоїдного ступеня дисперсності.

Тому, з наукової точки зору, вивченню підлягають такі системи, як водні розбавлені розчини, що представляють собою, за визначенням академіка НАНУ Гончарука В.В. [3 – 5], кластерні утворення (Гігантські гетерофазні кластери води

(ГГКВ)) з включенням всього комплексу природних компонентів та компонентів, які утворюються внаслідок НТП, основними з яких є ріст та зміна співвідношення неорганічних і органічних компонентів розбавлених водних розчинів – питної води.

У процесі підготовки питної води баромембранними методами, які визнані науковою громадськістю і досвідом їх практичного використання ефективними та економічно і технологічно привабливими [6 – 9], головним зовнішнім чинником є мембрана, що забезпечує корегування кількісного і якісного складу водних розбавлених розчинів. Мембрани, які використовуються в баромембранних процесах для підготовки питної води, повинні відповідати фізико-хімічним властивостям та селективності до відповідних груп компонентів, особливо, фундаментальних (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), а в окремих випадках і до індивідуальних компонентів.

Баромембранні процеси з початку їх виникнення використовувалися, в основному, для розділення, очистки речовин та обезсолювання води, тому подальший їх розвиток відбувався з урахуванням необхідності вирішення конкретних задач, розв'язанням яких стане створення типорозмірного ряду мембран. На основі цього повинна бути створена багатостадійна функціонально-поетапна технологія підготовки питної води, основними стадіями в якій є: стадія корегування неорганічного складу, стадія корегування органічного складу компонентів та стадія енергетичної і біологічної адаптації води до норм і значень показників, які відповідають якості питної води в сучасному її розумінні.

Суттєвим недоліком при використанні баромембранних процесів є те, що на сьогодні немає закінченої теорії цих процесів та механізмів їх протікання, що створює труднощі при їх розрахунках і використанні, особливо для складних сумішей і зміни концентрацій у широкому діапазоні, а для створення науково-технічних основ і аналізу баромембранних процесів, які протікають у всій області зміни основних параметрів (тиску, концентрації, якісного і кількісного складу), не існувало приладів і відповідних методик [9].

Незважаючи на значну кількість джерел літератури, присвяченої баромембранним процесам, і, особливо, системам «мембрана – розбавлений водний розчин», їм приділяється недостатня увага з точки зору системних досліджень, тому що функціонування таких систем залежить від основних властивостей мембран (селективність, проникність, довговічність). Такі системні дослідження проводились на новоствореному авторами статті приладі для наукових досліджень та визначення технологічних параметрів процесів у системі вода джерел водопостачання – мембрана – чиста (питна) вода, який захищений патентом 93623 України, МПК G01N13/04 [10].

Створений прилад (рис. 1) дозволяє вивчати вплив на баромембранні процеси таких основних параметрів, як кількісний і якісний склад води, склад оброблюваної води джерел водопостачання, селективність і структура мембран, вивчати процеси з одно- і багатокомпонентними системами і, взагалі, визначати

основні результати, які б дозволяли підійти до вдосконалення теорії зворотноосмотичних процесів та вимог для їх ефективного використання. Прилад також дозволяє проводити дослідження явищ, які не розглядаються на сьогодні, незважаючи на широке використання баромембранних процесів при вирішенні такої гострої проблеми екобезпеки – життєдіяльності і здоров'я людини шляхом підготовки питної води заданої якості в сучасному розумінні цього поняття.

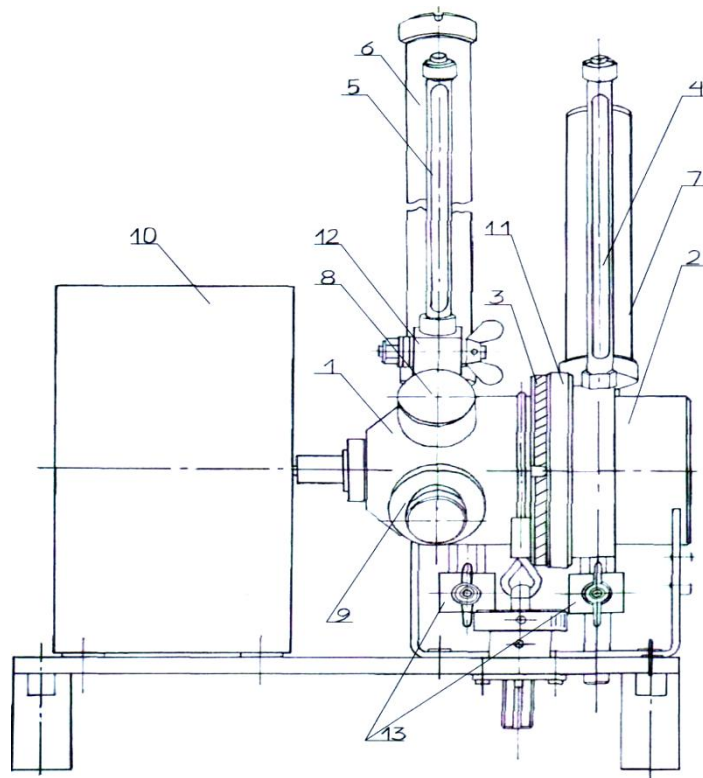


Рис. 1. Прилад для наукових досліджень та визначення технологічних параметрів процесів у системі вода джерел водопостачання – мембрана – чиста (питна): 1– камера розчину; 2 – камера розчинника; 3 – мембрана; 4, 5 – контрольні капіляри; 6 – додатковий резервуар розчинника; 7 – додатковий резервуар чистої (питної) води; 8 – датчик Холла; 9 – високоточний програмний датчик тиску; 10 – магнітна мішалка; 11 – накидна гайка; 12, 13 – шарикові крани високого тиску

Прилад зручний в роботі і дозволяє проводити експерименти зі зміною в широкому інтервалі визначальних параметрів - концентрації, тиску, селективності мембрани, а також вивчати процеси прямого і зворотного осмосу.

Основною проблемою при вдосконаленні і розширенні застосування баромембранних процесів при корегуванні водних розбавлених розчинів – природної питної води та інших джерел водопостачання з підвищеними значеннями концентрації є одна із основних задач теорії електролітів – теоретичний розрахунок коефіцієнтів активності, який дає можливість теоретично їх розраховувати і використовувати при розрахунках баромембранних процесів і апаратів згідно з наступною функціональною залежністю: $a = \gamma \cdot c$, де основною

величиною є коефіцієнт активності γ [11 – 13], який на практиці визначається експериментально і наводиться у вигляді відповідних табличних даних для певних компонентів, а не для всіх, які знаходяться у водах джерел водопостачання.

Коефіцієнт активності – коефіцієнт, який пов'язує реальну концентрацію електроліту з його термодинамічною активністю [14, 15].

За формулою 1 [16] здійснено теоретичний розрахунок коефіцієнтів активності для розчинів електролітів, які найпоширеніші у природних водах: NaCl, KCl, CaCl₂, MgCl₂, ZnCl₂, CdCl₂, AlCl₃, CrCl₃, Mg(NO₃)₂, Zn(NO₃)₂, концентрацією від 0,0001 до 4,0 моль/дм³.

$$\gamma = \exp \left(- \frac{1}{kT} \sum_i \frac{z_i^2 e^2 k a_i}{8\pi\epsilon\epsilon_0 a_i (1+k a_i)^2} \frac{n_i}{n_i + n_j} - \frac{1}{kT} \sum_j \frac{z_j^2 e^2 k a_j}{8\pi\epsilon\epsilon_0 a_j (1+k a_j)^2} \frac{n_j}{n_i + n_j} \right) \quad (1)$$

де: k – постійна Больцмана, $\frac{\text{Дж}}{\text{К}}$; T – абсолютна температура, К ; z_i – валентність i -го іона; z_j – валентність j -го іона; e – елементарний заряд, Кл ; k – дебаєвський радіус екранування, м ; ϵ_0 – діелектрична стала, $\frac{\text{Ф}}{\text{м}}$; ϵ – діелектрична проникність води; a_i – радіус i -го іона, м ; a_j – радіус j -го іона, м ; n_i – число іонів сорту « i -го», на які розклалася молекула електроліту; n_j – число іонів сорту « j -го», на які розклалася молекула електроліту.

Дебаєвський радіус екранування, що є невід'ємною складовою при розрахунках коефіцієнтів активності, розраховується за формулою 2 [16]:

$$d^2 = \frac{F^2 z^+ z^- (z^+ + z^-) c_0}{\epsilon\epsilon_0 RT}, k = \frac{1}{d} \quad (2)$$

де: $F = 96485,3399 \frac{\text{Кл}}{\text{моль}}$ – стала Фарадея; z^+ , z^- – валентності; c_0 – концентрація електроліту, $\frac{\text{моль}}{\text{дм}^3}$; $\epsilon_0 = 8,85418 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$ – діелектрична стала; $\epsilon = 78,8$ –

діелектрична проникність для води; $R = 8,31441 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ – газова стала; $T = 273 + 25^\circ\text{C} = 298 \text{ К}$ – абсолютна температура.

Для наочності в таблиці 1 наведені розраховані за формулою (2) значення дебаєвського радіусу екранування для розчинів електролітів, для яких проводився розрахунок коефіцієнтів активності.

Для практичного використання при розрахунках баромембранних процесів у таблиці 2 наведені теоретично розраховані коефіцієнти активності в порівнянні з експериментально визначеними [17] (де це було можливим).

Таблиця 1

Значення дебаєвського радіусу екранування к розчинів електролітів

Електроліт	Розраховане значення κ , (нм) для концентрацій електролітів, моль/дм ³							
	0,0001	0,001	0,01	0,1	0,5	1,0	2,0	4,0
NaCl	30,40	9,640	3,040	0,964	0,431	0,304	0,215	0,152
KCl	30,40	9,640	3,040	0,964	0,431	0,304	0,215	0,152
CaCl ₂	17,60	5,560	1,760	0,556	0,248	0,176	0,124	0,088
MgCl ₂	17,60	5,560	1,760	0,556	0,248	0,176	0,124	0,088
ZnCl ₂	17,60	5,560	1,760	0,556	0,248	0,176	0,124	0,088
CdCl ₂	17,60	5,560	1,760	0,556	0,248	0,176	0,124	0,088
AlCl ₃	12,44	3,935	1,244	0,393	0,176	0,124	0,088	0,062
CrCl ₃	12,44	3,935	1,244	0,393	0,176	0,124	0,088	0,062
Mg(NO ₃) ₂	17,60	5,560	1,760	0,556	0,248	0,176	0,124	0,088
Zn(NO ₃) ₂	17,60	5,560	1,760	0,556	0,248	0,176	0,124	0,088

Таблиця 2

Значення коефіцієнтів активності γ для водних розчинів електролітів

Електр оліт	Розраховане значення γ для концентрацій, моль/дм ³ (довідникове)							
	0,0001	0,001	0,01	0,1	0,5	1,0	2,0	4,0
NaCl	0,988 (-)	0,964 (0,965)	0,898 (0,874)	0,753 (0,778)	0,619 (0,681)	0,569 (0,657)	0,530 (0,668)	0,508 (0,783)
KCl	0,988 (-)	0,964 (0,966)	0,899 (0,901)	0,760 (0,770)	0,640 (0,651)	0,598 (0,604)	0,571 (0,573)	0,561 (0,577)
CaCl ₂	0,960 (-)	0,885 (0,840)	0,704 (0,580)	0,428 (0,518)	0,281 (0,448)	0,248 (0,500)	0,235 (0,792)	0,241 (0,890)
MgCl ₂	0,960 (-)	0,884 (-)	0,698 (-)	0,404 (0,528)	0,234 (0,497)	0,189 (0,569)	0,162 (1,051)	0,152 (5,530)
ZnCl ₂	0,960 (-)	0,884 (-)	0,700 (-)	0,411 (0,515)	0,248 (0,380)	0,207 (0,339)	0,184 (0,289)	0,179 (0,307)
CdCl ₂	0,960 (-)	0,884 (-)	0,703 (-)	0,424 (0,228)	0,274 (0,114)	0,238 (0,067)	0,223 (0,044)	0,227 (0,030)
AlCl ₃	0,919 (-)	0,771 (-)	0,471 (-)	0,154 (-)	0,051 (0,313)	0,034 (0,539)	0,025 (2,536)	0,022 (-)
CrCl ₃	0,919 (-)	0,772 (-)	0,474 (-)	0,161 (-)	0,060 (0,300)	0,042 (0,481)	0,034 (-)	0,033 (-)
Mg(NO ₃) ₂	0,960 (-)	0,884 (-)	0,699 (-)	0,406 (0,522)	0,236 (0,465)	0,192 (0,536)	0,165 (0,835)	0,155 (2,59)
Zn(NO ₃) ₂	0,960 (-)	0,884 (-)	0,700 (-)	0,413 (0,530)	0,251 (0,467)	0,210 (0,533)	0,187 (0,814)	0,182 (2,30)

У зв'язку з наявністю різниці в значеннях теоретично розрахованих і експериментально визначених коефіцієнтів активності, що є дуже суттєво при їх практичному використанні, наведені конкретні випадки з обґрунтування цих явищ.

Так, у випадку 1 – 1 - валентних електролітів (NaCl, KCl) значення теоретично розрахованих коефіцієнтів активності зменшуються зі збільшенням концентрації розчину, а довідникових – зменшуються до певного значення концентрації, а починаючи зі значення концентрації 2,0 моль/дм³, значення коефіцієнтів активності починають збільшуватися.

Для 2 – 1 - валентних розчинів електролітів (CaCl₂, MgCl₂, ZnCl₂, CdCl₂, Mg(NO₃)₂, Zn(NO₃)₂) теоретично розраховані коефіцієнти активності і довідникові значення суттєво відрізняються, а для низьких концентрацій, майже для всіх розчинів, довідникові значення коефіцієнтів активності відсутні. Значення як теоретично розрахованих, так і довідникових коефіцієнтів активності зростають в області високих концентрацій, починаючи зі значення концентрації 2,0 моль/дм³.

Для 3 – 1 - валентних розбавлених водних розчинів електролітів (AlCl₃, CrCl₃) спостерігається зниження значень теоретично розрахованих коефіцієнтів активності з підвищенням концентрації, тоді як довідникові значення коефіцієнтів активності збільшуються з ростом концентрації. Крім того, в області низьких концентрацій розбавлених водних розчинів значення довідникових коефіцієнтів активності відсутні, що створює значні труднощі при розрахунках і використанні баромембранних процесів.

Відмінність між теоретично розрахованими значеннями коефіцієнтів активності для водних розбавлених розчинів електролітів і довідниковими значеннями можна пояснити тим, що при теоретичному розрахунку максимально враховані всі параметри процесів, які протікають у розбавлених водних розчинах електролітів, а точність експериментально визначених коефіцієнтів активності визначається методиками, які, по суті, не відповідають такій точності.

Для створення основних теоретичних засад (моделі, механізму) баромембранних процесів, а головне, їх впливу на корегування сумарної концентрації і збалансованості компонентів у питній воді, з використанням створеного приладу і методики, необхідно було проведення ряду системних досліджень у системах «модельні розчини природної питної води, природна вода джерел водопостачання – полімерна багат шарова композитна мембрана – питна вода (водний розбавлений розчин) із заданими параметрами, які повинні бути скореговані в строго заданих границях».

В якості мембран були використані мембрани американського виробництва фірми Filmtec типу TW30-1812-50 (зворотноосмотична мембрана для домашніх фільтрів очистки води, з селективністю $\phi=98\%$, з робочим тиском до 2,0 МПа, максимальний тиск – 6 МПа, матеріал – поліамід) та німецького виробництва фірми Koch Membrane Systems типу TFC-ULP 4” (зворотноосмотична мембрана

низьких тисків, робочий тиск – 0,7-1,2 МПа, максимальний тиск – 2,4 МПа, матеріал – поліамід).

В результаті системних експериментальних досліджень дуже важливої екологічної проблеми – екобезпеки життєдіяльності і здоров'я людини, яка визначається якістю питної води і, особливо, кількісним і якісним складом, співвідношенням компонентів і значенням рН середовища, з використанням новоствореного приладу було отримано ряд параметральних залежностей, що характеризують баромембранні процеси в цілому, а саме, залежності концентрації розчинів $C_{вх}$ (концентрація водного розбавленого розчину, що надходить на мембрану) від тиску P та часу t , селективності мембрани ϕ від тиску P та часу t , а також коефіцієнту зниження концентрації $K_{кз}$ від часу t , за якими було побудовано параметральні криві процесу, які дають можливість визначати основні технологічні параметри процесів, а саме: початкову зону – зону розгону процесу, робочу зону, зону завершення процесу, які характеризуються відповідними інтервалами тисків і тривалістю їх протікання.

На основі результатів проведених досліджень були встановлені механізм та фізична модель баромембранних процесів, які забезпечують вирішення поставленої основної задачі, тобто підготовки питної води із заданим кількісним і якісним складом і співвідношеннями компонентів.

В основу фізичної моделі баромембранних процесів покладена реалізація одночасного протікання процесів селективного видалення компонентів із водного розбавленого розчину та процесу фільтрування, що ще раз підтверджує необхідність створення типорозмірного ряду мембран.

Запропонований механізм баромембранних процесів, який наведений на рисунку 2, полягає в тому, що рушійною силою баромембранних процесів є прикладений тиск, який забезпечує процес фільтрації, а мембрана, за рахунок своєї універсальній селективності, видаляє компоненти розбавленого водного розчину і створює, внаслідок своєї структури, опір фільтрації.

Виходячи з цього, були проведені експериментальні дослідження з використанням реальних вод, таких як вода джерел водопостачання – річок Дніпра та Десни, вода, що пройшла очистку на станції водопідготовки – водопровідна вода, вода локальних джерел водопостачання – вода колодязя, бутильована вода. Результати проведених досліджень представлені в таблиці 3.

Широке використання баромембранних процесів для підготовки питної води при вирішенні основної екологічної проблеми – екобезпеки життєдіяльності і здоров'я людини має ряд суттєвих недоліків, які необхідно враховувати в кожному конкретному випадку використання цих процесів, а саме:

1. У процесі реалізації баромембранних методів для корегування складу питної води на сучасних апаратах і мембранах, які широко використовуються на локальному рівні, разом із корегуванням загальної концентрації фундаментальних параметрів питної води Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ відбувається зміна співвідношення цих компонентів, наприклад, з Mg^{2+} : Ca^{2+} = 1:2 до 2:1, причому в значній кількості

випадків Mg^{2+} взагалі видаляється до нульових значень, а за нормативами вони повинні бути $Ca^{2+}=25 - 75$ мг/дм³, $Mg^{2+}=10 - 50$ мг/дм³.

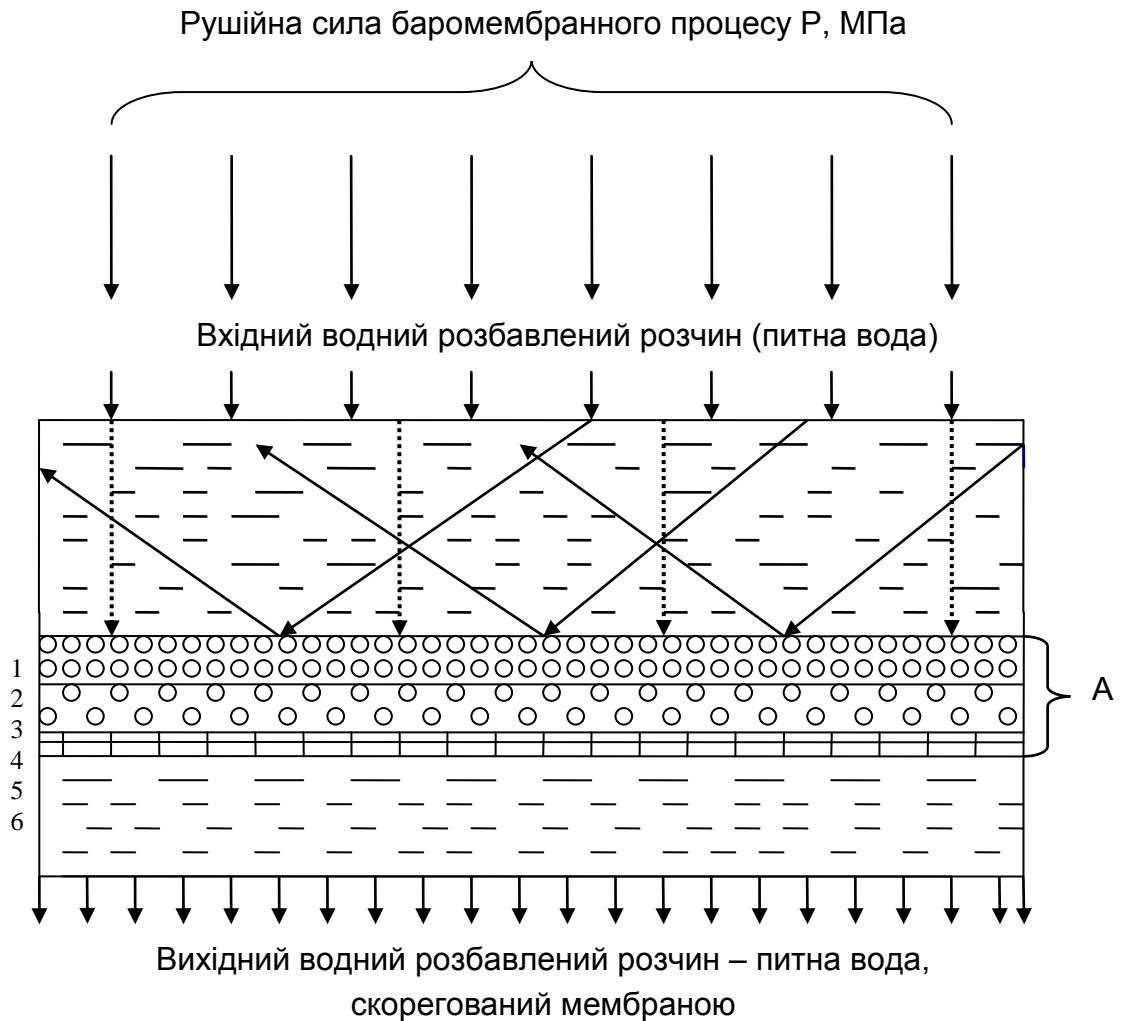


Рис. 2. Механізм процесів у системі «вода джерел водопостачання – мембрана – водний розбавлений розчин (питна вода)»

A - зовнішній чинник-мембрана. Корегування водного розбавленого розчину.

1 – 2 – селективна основа баромембранних процесів:

1 – поверхневий шар води, що втратила свою властивість розчинності;

2 – поліамідний шар з водою, що втратила свою властивість розчинності, в об'ємі мембрани.

3 – 4 – часткові процеси селективної основи баромембранних процесів.

4 – 6 – фільтраційна основа баромембранних процесів:

3 – шар полісульфону на поверхні підложки;

4 – шар полісульфону в об'ємі підложки;

5 – 6 – процес фільтрації і, як результат, вихід водного розбавленого розчину – питної води

Зміна показників води різних джерел водопостачання з часом τ після зворотного осмосу

Показники	Вода р. Дніпра мембрана Filmtec, тиск P=18 атм				
	Вихідна вода	Проби після зворотного осмосу			
		1	2	3	4
Водневий показник рН	8,12	6,73	6,73	6,76	6,78
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	201,3 (3,3)	39,04 (0,64)	41,5 (0,68)	53,68 (0,88)	53,68 (0,88)
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	39,04 (0,81)	20,0 (0,41)	20,0 (0,41)	24,8 (0,51)	24,8 (0,51)
Cl ⁻ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	22,4 (0,63)	14,2 (0,4)	14,2 (0,4)	15,62 (0,44)	15,62 (0,44)
Жорсткість загальна, мг-екв/дм ³	3,9	0,73	0,73	0,8	0,8
Mg ²⁺ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	12,16 (1,0)	4,98 (0,41)	4,98 (0,41)	5,35 (0,44)	5,35 (0,44)
Ca ²⁺ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	58,1 (2,9)	6,4 (0,32)	6,4 (0,32)	7,21 (0,36)	7,21 (0,36)
Fe ³⁺ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.
NO ₃ ⁻ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.
NO ₂ ⁻ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	0,23 (0,012)	0,08 (0,004)	0,03	0,02	0,02
Окислюваність (KMnO ₄), мг/дм ³	2,4	1,76	1,28	1,36	1,84
Сухий залишок, мг/дм ³	232,6	65,2	66,3	79,8	79,8

Таблиця 3. Продовження

Показники	Вода р. Десни мембрана Filmtec, тиск P=18 атм				
	Вихідна вода	Проби після зворотного осмосу			
		1	2	3	4
Водневий показник рН	8,6	6,2	6,12	6,0	6,0
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	264,3 (4,3)	48,8 (0,8)	48,8 (0,8)	48,8 (0,8)	48,8 (0,8)
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	104,0 (2,16)	56,0 (1,16)	56,0 (1,16)	56,0 (1,16)	68,7 (1,43)
Cl ⁻ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	28,4 (0,8)	14,2 (0,4)	14,2 (0,4)	14,9 (0,42)	14,9 (0,42)
Жорсткість загальна, мг-екв/дм ³	6,0	0,53	0,60	0,60	0,66
Mg ²⁺ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	29,2 (2,4)	4,0 (0,33)	4,62 (0,38)	4,62 (0,38)	5,22 (0,43)
Ca ²⁺ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	72,1 (3,6)	4,0 (0,2)	4,4 (0,22)	4,4 (0,22)	4,64 (0,23)
Fe ³⁺ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	0,01	0,06	0,03	0,01	0,01
NO ₃ ⁻ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	7,5 (0,12)	6,0 (0,08)	6,0 (0,08)	6,0 (0,08)	6,0 (0,08)
NO ₂ ⁻ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	0,28 (0,015)	0,15 (0,008)	0,15 (0,008)	0,15 (0,008)	0,15 (0,008)
Окислюваність (KMnO ₄), мг/дм ³	2,0	2,0	1,36	0,96	0,96
Сухий залишок, мг/дм ³	373,7	108,84	109,8	110,5	124,04

Таблиця 3. Продовження

Показники	Водопровідна вода мембрана Filmtec, тиск P=18 атм				
	Вихідна вода	Проби			
		1	2	3	4
Водневий показник рН	7,62	6,53	6,53	6,85	6,65
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	161,0 (2,63)	48,8 (0,8)	48,8 (0,8)	52,8 (0,86)	61,0 (1,0)
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	110,4 (2,3)	83,2 (1,7)	80,0 (1,6)	80,0 (1,6)	110,4 (2,3)
Cl ⁻ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	32,0 (0,9)	14,2 (0,4)	15,0 (0,42)	15,0 (0,42)	19,17 (0,54)
Жорсткість загальна, мг-екв/дм ³	4,32	0,53	0,56	0,73	0,93
Mg ²⁺ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	12,64 (1,03)	4,0 (0,33)	4,0 (0,33)	6,0 (0,5)	6,4 (0,53)
Ca ²⁺ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	65,7 (3,27)	4,0 (0,2)	4,6 (0,23)	4,6 (0,23)	8,0 (0,4)
Fe ³⁺ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.
NO ₃ ⁻ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.
NO ₂ ⁻ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.
Окислюваність (KMnO ₄), мг/дм ³	1,36	2,24	1,76	1,60	1,36
Сухий залишок, мг/дм ³	301,2	129,8	128,0	132,0	174,5

Таблиця 3. Продовження

Показники	Вода колодязя мембрана Filmtec, тиск P=22 атм				
	Вихідна вода	Проби			
		1	2	3	4
Водневий показник рН	8,2	7,1	7,33	7,56	7,6
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	222,65 (3,65)	32,94 (0,54)	35,38 (0,58)	39,04 (0,64)	68,32 (1,12)
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	50,4 (1,05)	36,8 (0,76)	36,8 (0,76)	42,3 (0,88)	42,3 (0,88)
Cl ⁻ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	15,89 (0,44)	14,2 (0,4)	14,2 (0,4)	14,2 (0,4)	14,2 (0,4)
Жорсткість загальна, мг-екв/дм ³	4,8	0,56	0,64	0,72	1,08
Mg ²⁺ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	9,73 (0,8)	4,25 (0,35)	4,25 (0,35)	4,37 (0,36)	4,8 (0,4)
Ca ²⁺ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	80,16 (4,0)	4,25 (0,21)	5,81 (0,29)	7,21 (0,36)	13,6 (0,68)
Fe ³⁺ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.
NO ₃ ⁻ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.
NO ₂ ⁻ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.
Окислюваність (KMnO ₄), мг/дм ³	2,0	2,2	1,8	1,6	1,6
Сухий залишок, мг/дм ³	271,63	76,0	78,7	87,6	113,4

Показники	Бутильована вода мембрана Koch Membrane Systems, тиск P=10 атм					
	Вихідна вода	Проби після зворотного осмосу				
		1	2	3	4	5
Водневий показник рН	7,83	7,64	8,05	8,22	8,22	8,3
НСО ₃ ⁻ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	359,9 (5,9)	100,0 (1,64)	112,2 (1,84)	224,5 (3,68)	224,5 (3,68)	305,0 (5,0)
Сl ⁻ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	30,53 (0,86)	17,75 (0,5)	17,75 (0,5)	28,4 (0,8)	28,4 (0,8)	29,82 (0,84)
Жорсткість загальна, мг-екв/дм ³	3,8	0,64	0,64	1,44	1,68	2,48
Mg ²⁺ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	8,51 (0,7)	4,86 (0,4)	4,86 (0,4)	8,51 (0,7)	10,7 (0,88)	16,5 (1,36)
Ca ²⁺ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	62,12 (3,1)	4,8 (0,24)	4,8 (0,24)	6,0 (0,3)	16,0 (0,8)	22,4 (1,12)
Fe ³⁺ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.
NO ₃ ⁻ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.
NO ₂ ⁻ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.
Окислюваність (KMnO ₄), мг/дм ³	1,6	2,08	1,2	1,84	1,84	2,0
Сухий залишок, мг/дм ³	405,52	127,4	83,5	155,1	167,3	221,2

2. Другим суттєвим недоліком при використанні баромембранних процесів для корегування водних розбавлених розчинів – питної води, є вплив цих процесів і відповідних мембран на показник рН питної води, значення якого зменшується до 6,0 – 6,6, при нормативному значенні 6,5 – 8,5, а наші дослідження з питними водами різної природи показали, що значення рН повинно бути в межах 7,7 – 8,3.

З метою вирішення цих складних проблем необхідно розв'язати наступні наукові задачі:

- розробка і створення типорозмірного ряду відповідних селективних мембран та розділення стадії зворотного осмосу на окремі функціональні етапи, в тому числі й етап, який забезпечував би рН водних розбавлених розчинів у межах 7,7 – 8,3;

- необхідний індивідуальний контроль параметрів розбавленого водного розчину – питної води: якісний із сигналами, наприклад, зелений – жовтий – червоний, або звернення до відповідних організацій, які б робили аналізи і відповідні висновки у момент пуску баромембранної установки і в період її експлуатації;

- використовувати для корегування значень рН спеціальні фільтри з відповідними сорбентами;

- при використанні сучасного обладнання і мембранної технології необхідно їх облаштовувати приладами для контролю значень концентрації фундаментальних компонентів і їх співвідношень (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺), і, особливо, значення рН.

3. При реалізації баромембранних процесів виявилася проблема вимивання органічних речовин із шарів мембрани в оброблюваний розбавлений водний розчин, що підтверджується підвищенням значення перманганатної окислюваності в перших пробах експериментів. Для вирішення цієї проблеми необхідно:

- в процесі створення і синтезу композитних полімерних мембран використовувати або синтезувати полімери, що мають високу стійкість до розчинення у воді;

- перед безпосереднім використанням мембрани в баромембранному процесі промити її водою з температурою 20 – 25 °С з паралельним контролюванням зниження концентрації речовин, які вимиваються з мембран, до допустимих значень – 4,0 мгО₂/дм³.

4. Підлягають контролю і причини нестаціонарної роботи апаратів, однією з яких може бути нерівномірність розподілу властивостей по поверхні мембранного полотна.

Вирішення цієї проблеми можливе тільки при вдосконаленні існуючих технологій виготовлення мембран і, особливо, створення мембран на основі нових полімерів, стійких до водних розчинів.

* * *

1. Mark R Riley. Biological approaches for addressing the grand challenge of providing access to clean drinking water / Mark R. Riley, Charles P. Gerba, Menachem Elimelech // Journal of Biological Engineering. – 2011. – 5:2.

2. Гапула О.В. Безпека життєдіяльності та проблеми і задачі забезпечення людини питною водою / О.В. Гапула, М.В. Камченко, О.П. Величенко, Я.М. Заграй // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. – 2008. – № 10. – С. 19 – 24.

3. Гончарук В.В. Кластеры и гигантские гетерофазные кластеры воды / В.В. Гончарук, В.Н. Смирнов, А.В. Сыроешкин, В.В. Марьяренко // Химия и технология воды. – 2007. – Т. 29, № 1. – С. 3 – 17.

4. Успенская Е.В. Изучение структуры воды на субмолекулярном уровне для разработки новых методов стандартизации и контроля качества минеральных вод и жидких лекарственных форм: Дисс...кандидата хим. наук: 15.00.02 / Успенская Е. В. / Москва, 2007. – 150 с.

5. Смирнов А.Н. Структура воды: гигантские гетерофазные кластеры воды / А.Н. Смирнов, В.Б. Лапшин, А.В. Балышев, И.М. Лебедев, В.В. Гончарук, А.В. Сыроешкин // Химия и технология воды. – 2005. – № 2. – С. 11 – 37.

6. Камченко М.В.¹ Осмотичні процеси як основа підготовки питної води заданої якості / М.В. Камченко / Підвищення ефективності використання водних, теплових та

¹ Прізвище Камченко є дівочим прізвищем автора, яке, у зв'язку із заміжжям, змінилося на Кравченко.

енергетичних ресурсів та охорона навколишнього середовища: міжнародна науково-практична конференція молодих вчених і студентів: тези допов. – Київ, 2008. – С. 35 – 37.

7. Кравченко М.В. Стан і проблеми фундаментальних основ осмотичних процесів в технології підготовки питної води нормативної якості / М.В. Кравченко / Освіта, наука, релігія на захисті довкілля: Всеукраїнська студентська конференція: тези допов. – Київ, 2008.

8. Кравченко М.В. Науково-технічне забезпечення реалізації мембранних технологій для підготовки питної води / М.В. Кравченко / Підвищення ефективності використання водних, теплових та енергетичних ресурсів та охорона навколишнього середовища: міжнародна науково-практична конференція молодих вчених і студентів: тези допов. – Київ, 2009. – С. 54 – 57.

9. Кравченко М.В. Баромембранні процеси при підготовці питної води (аналіз гіпотез і механізмів) / М.В. Кравченко, О.В. Гапула, Я.М. Заграй // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. – 2008. – № 11. – С. 12 – 24.

10. Пат. 93623 України, МПК G01N13/04. Прилад для наукових досліджень та визначення технологічних параметрів процесів в системі вода джерел водопостачання – мембрана – чиста (питна) вода / Я.М. Заграй, М.В. Кравченко, О.В. Гапула – № а200913375; заявл. 23.12.2009; опубл. 25.02.2011, Бюл. №4.

11. Камченко М.В. Дослідження процесів в системі «напівпроникна мембрана - розчин» в технології підготовки питної води / М.В. Камченко, О.В. Гапула, О.П. Величенко, Я.М. Заграй // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. – 2007. – № 9. – С. 42 – 48.

12. Симонов И.Н. Самосогласованные ионные системы / И.Н. Симонов, Я.М. Заграй. – Киев: «Вища школа», 1992. – 120 с.

13. Симонов І.М. Континуальна теорія поля і фізико-хімія багатоконпонентних систем / І.М. Симонов, Я.М. Заграй // Вісті Академії інженерних наук України. – 1994 р. - №2. – С. 113 – 128.

14. Лукомский Ю.Я. Физико-химические основы электрохимии / Ю.Я. Лукомский, Ю.Д. Гамбург. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2008. – 424 с.

15. Корыта В. Электрохимия / В. Корыта, И. Дворжак, В. Богачкова. – М.: Мир, 1977. – 472с.

16. Симонов И.Н. Континуальная электродинамика / И.Н. Симонов. – Киев, УкрИНТЭИ, 2001. – 256 с.

17. Горонковский И.Т. Краткий справочник по химии / И.Т. Горонковский, Ю.П. Назаренко, Е.Ф. Некряч. – Киев, 1987. – 833 с.

Отримано: 5.09.2011 р.