

УДК 628.16.08

М.В. КРАВЧЕНКО

НЕДОЛІКИ ЗАСТОСУВАННЯ ЛОКАЛЬНИХ ЗВОРотноОСМОТИЧНИХ УСТАНОВОК НА ПРИКЛАДІ ДООЧИЩЕННЯ ВОДОПРОВІДНОЇ ВОДИ В ГОТЕЛІ МІСТА КИЄВА

***Анотація.** Розглянуто наслідки використання зворотноосмотичних установок при доочистці питної води на прикладі водопровідної води в готелі міста Києва, яка пройшла очистку на установці з мембранним елементом Filmtec XLE 440 (8") виробництва компанії DOW Chemical (США). Наведені результати зміни кількісного і якісного складу води, а саме її фундаментальних компонентів, в результаті доочистки зворотним осмосом. Обґрунтовано технологічні та економічні недоліки зворотноосмотичних установок.*

***Ключові слова:** очистка води, зворотний осмос, мембранний елемент.*

Згідно з ДБН В.2.5-64:2012 [1], який введено в дію на території України з 1 березня 2013 року, показники безпечності та якості холодного та гарячого водопостачання повинні відповідати вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 [2].

У залежності від аналізу питної води з мережі водопостачання на ввіді водопроводу в будинок, будівлю або споруду при новому будівництві, реконструкції, реставрації, технічному переоснащенні та капітальному ремонті багатопверхових житлових будинків, навчальних закладів та закладів охорони здоров'я, підприємств харчової промисловості і громадського харчування, готелів категорій ***, ** та * можуть бути встановлені індивідуальні (колективні) установки (пристрої) доочищення питної води з метою поліпшення її якості.

У готелях категорій **** і ***** застосування даних установок обов'язкове (п. 6.1).

В пункті 7.3 даного документу вказано, що в будівлях чи спорудах (як наприклад, готель категорії ****) повинна бути передбачена система додаткового очищення води, яка доводить мінеральний склад питної води до норм згідно з оптимальним вмістом мінеральних речовин для фізіологічних потреб організму людини, наведених в п.3.2 та додатку 4 ДСанПіН 2.2.4-171-10 [2].

Сьогодні досить популярним методом доочистки питної води визнаний зворотний осмос, і ряд великих компаній, які займаються розробкою і поставками водоочисного обладнання, налагодили випуск як промислових систем зворотного осмосу, так і побутових.

На прикладі водопровідної води в готелі категорії ****, що знаходиться в м. Києві, покажемо, як відбувається процес коригування якісного і кількісного складу води методом зворотного осмосу.

Системи зворотного осмосу, як обладнання для водопідготовки, з моменту свого зародження розроблялися не для систем централізованого або автономного (артезіанська свердловина, колодязь) водопостачання, а для знесолення солоних та солонуватих вод (мінералізація > 1000 мг/дм³), очистки стічних вод, підготовки високочистої води для промислових операцій.

Для цих цілей переваги зворотного осмосу (в першу чергу те, що всі процеси здійснюються без зміни агрегатного стану води, що визначає технологічну привабливість і ефективність зворотноосмотичних установок) не мають конкурентів серед класичних методів підготовки води.

Коли ж мова йде про використання побутових зворотноосмотичних установок при підготовці питної води, а точніше коригуванні складу води, яка вже пройшла підготовку на станціях централізованого водопостачання (водопровідна вода з мінералізацією < 1000 мг/дм³), тут постає ряд проблем і недоліків при застосуванні зворотного осмосу, які, в першу чергу, пов'язані з впливом на екобезпеку життєдіяльності і здоров'я людини.

Процес зворотного осмосу дозволяє відразу видаляти не лише солі та інші речовини, що знаходяться в іонізованому стані, але також і органічні речовини, колоїди, бактерії, віруси (розмір частинок 0,0001–0,001 мкм; робочий тиск від 0,5 МПа).

Ефективність зворотноосмотичних установок для вирішення широкого кола задач, в тому числі і підготовки питної води, визначається якістю основного їх елемента – мембран, яких на світовому ринку представлений широкий асортимент, що працюють при низькому (до 1,5 МПа), середньому (2,5–3,0 МПа) і високому (понад 3,0 МПа) тиску і мають різні фізико-хімічні та технічні характеристики.

Для зворотноосмотичних установок, що пропонуються сьогодні на комерційному ринку, головними комплектуючими є мембранні елементи (картриджі), основою чого є багатопшарові полімерні композитні мембрани виробництва, в основному, США (Filmtec, фірми DOW Chemical), ФРН (фірми Koch Membrane Systems), Кореї (фірми SAEHAN).

Тобто, якість води, що пройшла процес підготовки зворотним осмосом, а також продуктивність зворотноосмотичної установки визначають безпосередньо такі фізико-хімічні властивості мембрани, як структура, розміри її пор, селективність, проникність.

В таблиці 1 наведені результати аналізу вихідної водопровідної води в готелі м. Києва, виконані санітарно-епідеміологічною станцією міста Києва та екологічною лабораторією в місті Монтана (США) (Montana Environmental Laboratory).

Результати аналізу порівняні з діючими в світі нормативами на питну воду, зокрема України [2], США [3], нормативами МОЗ України [4], нормативами Ради Європейського Союзу [5], а також з показниками фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води (Україна) [2].

Як показало порівняння досліджуваної води з нормативними значеннями, якість водопровідної води в готелі м. Києва відповідає нормативним значенням, зокрема ДСанПіН 2.2.4-171-10, що діє сьогодні на території України.

Так як досліджуваний готель має категорію 4-зіркового, то згідно з вимогами ДБН В.2.5-64:2012 [1] в ньому повинна бути передбачена обов'язкова установка доочистки водопровідної води, в якості якої керівництвом готелю була обрана і запропонована зворотноосмотична установка з продуктивністю 2,0–3,0 м³/год та мембранним елементом Filmtec XLE 440 (8") виробництва компанії DOW Chemical (США).

Зворотний осмос в процесі демінералізації розділяє водопровідну воду на два потоки: демінералізовану воду (пермеат), яка поступає

в бак-накопичувач, та воду з підвищеним солевмістом (концентрат), яка скидається в каналізацію.

Важливою характеристикою даної установки є ступінь очистки води до 99,8%, тобто на виході з установки вода за своїм якісним і кількісним складом відповідає дистильованій воді.

Підтвердимо це експериментально на прикладі дослідження зміни концентрації фундаментальних компонентів водопровідної води, що пройшла очистку через зворотноосмотичну установку.

Таблиця 1. Порівняння концентрації показників водопровідної води (готель в м. Києві) зі значеннями інших світових нормативних документів

Показники якості води	Одиниця вимірювання	Досліджувана вода (водопровідна вода в готелі м. Києва)		ДСанПіН 2.2.4-171-10 (Україна) [2]	Environmental Protection Agency – EPA (США) [3]	Нормативи МОЗ на питну воду (Україна) [4]	Директива Ради ЄС 98/83 [5]	Показники фізіологічної повноцінності мінерал. складу питної води (Україна) [2]
		Виконавець – міська СЕС, від 14.11.013 р.	Виконавець – Монтана Environmental Laboratory 290,09 LLC, від 17.12.13р.					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Органолептичні показники</i>								
Запах	Бали	2,0	-	2,0	3,0			-
Присмак	Бали	1,0	-	2,0				-
Каламутність	мг/дм ³	<0,58	-	1,0	0,5-1,0	5,0 (1,0)	4,0	-
Колірність	град	18,0	-	20,0	15,0	15,0		-
<i>Загальні фізико-хімічні показники</i>								
Водневий показник рН		7,75	7,11	6,5-8,5	6,5	6,5-8,5	6,5-8,5	-
Загальна мінералізація (сухий залишок)	мг/дм ³	290,0	348,0	1000 (1500)	500	1000	1500	200-500
Загальна жорсткість	мг-екв/дм ³	4,8	-	7,0 (10,0)	-	-	1,2	1,5-7,0
Сульфати	мг/дм ³	18,47	34,1	250 (500)	250	250	250	-
Хлориди	мг/дм ³	20,0	24,9	250 (350)	250	250	250	-
Окислюваність перманганатна	мгО ₂ /дм ³	5,04	-	5,0	-	-	5,0	-
Лужність загальна	мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	4,0	-	-	0	-	30,0	0,5-6,5
<i>Неорганічні речовини (пріоритетні)</i>								
Алюміній ⁴⁺	мг/дм ³	0,094	0,32	0,2 (0,5)	0,2	0,2	0,2	-
Барій	мг/дм ³	-	н/в	-	2,0	0,7	0,1	-

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Берилій	мг/дм ³	-	н/в	0,0002	0,004	-	-	-
Залізо	мг/дм ³	0,109	0,05	0,2 (1,0)	0,3	0,3	0,2	-
Кадмій	мг/дм ³	-	н/в	-	0,005	0,003	0,005	-
Калій	мг/дм ³	-	4,0	-	-	-	12,0	2-20
Кальцій	мг/дм ³	74,15	84,0	-	-	-	100,0	25- 75
Магній	мг/дм ³	13,38	10,0	-	-	-	50,0	10- 50
Марганець	мг/дм ³	<0,01	0,021	0,05 (0,5)	0,05	0,5 (1,0)	0,05	-
Мідь	мг/дм ³	<0,001	н/в	1,0	1,0	2,0 (1,0)	2,0	-
Нікель	мг/дм ³	-	н/в	0,02	-	0,02	0,02	-
Нітрати	мг/дм ³	11,07	1,6	50,0	44,0	50,0	50,0	-
Нітрити	мг/дм ³	0,39	н/в	0,5	3,3	3,0	0,5	-
Азот амонійний	мг/дм ³	0,15	0,32	0,5	-	1,5	0,5	-
Натрій	мг/дм ³	-	12,7	200,0	-	200,0	200,0	2-20
Селен	мг/дм ³	-	н/в	0,01	0,05	0,01	0,01	-
Срібло	мг/дм ³	-	н/в	-	0,1	-	0,01	-
Фториди	мг/дм ³	0,1	0,2	0,7-1,5	2,02- 4,0	1,5	1,5	0,7- 1,2
Хлор зв'язаний	мг/дм ³	0,94	-	1,2	-	-	-	-
Хром	мг/дм ³		н/в	0,05	-	0,05	0,05	-
Цинк	мг/дм ³	0,03	0,01	-	5,0	-	5,0	-
<i>Мікробіологічні показники</i>								
Загальне число бактерій	КУО в 1см ³	0	-	0	0	0	0	-
Число бактерій групи кишкових паличок	КУО в 1дм ³	В 100 см ³ н/в	-	0	0	0	0	-
Число термостабільних кишкових паличок	КУО в 100 см ³	Е. coli в 100 см ³ н/в	-	0	-	0	0	-
Число патогенних мікроорганізмів (ентерокок)	КУО в 1дм ³	В 100 см ³ н/в	-	0	0	0	0	-
Число колифагів	БУО в 1дм ³	-	-	0	-	-	-	-

Таблиця 2. Зміна фундаментальних показників водопровідної води готелю в м. Києві з часом (τ) після зворотного осмосу на мембрані Filmtec типу XLE 440 (8^{''}) при тискові P = 18 атм

Показники якості води	Одиниця вимірювання	Вихідна вода (водопровідна вода м. Києва)	Вода після зворотного осмосу P = 18 атм, мембрана Filmtec (США)	Селективність мембрани ϕ , %
Каламутність	мг/дм ³	0,58	Відс.	100
Колірність	град	18,0	Відс.	100
Водневий показник рН		7,75	6,43	-
Лужність (HCO ₃ ⁻)	мг/дм ³ (мг-екв/дм ³)	244,0 (4,0)	48,8 (0,8)	80,0
Сульфати (SO ₄ ²⁻)	мг/дм ³	18,47	13,85	25,0
Хлориди (Cl ⁻)	мг/дм ³	20,0	10,2	50,0
Жорсткість загальна	мг-екв/дм ³	4,8	0,53	90,0
Магній (Mg ²⁺)	мг/дм ³	13,38	3,3	75,0
Кальцій (Ca ²⁺)	мг/дм ³	74,15	4,0	94,5
Залізо (Fe ³⁺)	мг/дм ³	0,109	0,03	70,0
Нітрати (NO ₃ ⁻)	мг/дм ³	11,07	8,85	20,0
Нітрити (NO ₂ ⁻)	мг/дм ³	0,39	0,29	25,0
Азот амонійний (NH ₄ ⁺)	мг/дм ³	0,15	0,08	46,0
Перманганатна окислюваність (KMnO ₄)	мг/дм ³	5,04	6,24	-
Натрій (Na ⁺)	мг/дм ³	12,7	0,13	99,0
Калій (K ⁺)	мг/дм ³	4,0	0,04	99,0
Мінералізація загальна	мг/дм ³	290,0	65,4	77,5

Як видно з представлених у таблиці 2 результатів, значення каламутності і колірності вихідної води змінилися після зворотного осмосу до значення нуля. Як альтернатива зворотному осмосу, такі показники ряду органічних речовин (наприклад, колірність, запах, присмак) ефективно коригуються фільтрами на основі активованого вугілля, що значно поступається зворотному осмосу за економічними критеріями.

Значення водневого показника рН води після зворотного осмосу змінилося зі значення 7,75 до середнього значення 6,3, що характеризує отриману воду як підкислене середовище ($\text{pH} < 7,0$). Це підтверджується також і зниженням загальної лужності води (HCO_3^-) зі значення 4,0 мг-екв/дм³ до отриманого значення після зворотного осмосу – 0,8 мг-екв/дм³.

Організм балансує рН внутрішніх рідин, підтримуючи значення на певному рівні. Кисотно-лужний баланс організму – це певне співвідношення кислот і лугів в ньому, що сприяє нормальному функціонуванню. Кисотно-лужний баланс залежить від збереження відносно постійних пропорцій між внутрішньоклітинними і міжклітинними водами в тканинах організму. Якщо кисотно-лужна рівновага рідин в організмі не буде підтримуватися постійно, нормальне функціонування і збереження життя людини виявляться неможливими.

Важливими для здоров'я людини є такі фундаментальні показники, як Ca^{2+} і Mg^{2+} . Для фізіологічної повноцінності функціонування людського організму концентрація Ca^{2+} в питній воді повинна бути в межах значень 25,0–75,0 мг/дм³, Mg^{2+} – в межах значень 10,0–50,0 мг/дм³. Крім того, важливою є підтримка відповідного співвідношення між цими компонентами, що становить як 2:1.

Дивлячись на отримані значення концентрації цих важливих показників після зворотного осмосу, можна зробити важливий висновок, що селективність мембрани по відношенню до Ca^{2+} складає 95%, по відношенню до Mg^{2+} – 75%. Важливим є також і те, що співвідношення їх вирівнялись як 1:1, що суперечить нормам.

Постійне вживання людиною води з нестачею Ca^{2+} і Mg^{2+} , наприклад зі значеннями концентрації, отриманої після зворотного осмосу, негативно впливає на міцність кісток, на роботу м'язів, особливо серцевих, розвиваються гіпертонія, судоми, зростає ризик онкологічних захворювань, хвороб шкіри, мозку, серцево-судинної системи і білокрів'я. Дефіцит магнію у дітей призводить до таких серйозних хвороб, як рахіт, загальмованість, тремор.

Як видно з отриманих результатів, селективність мембрани по відношенню до сульфатів складала 25%. Селективність по залізу – 70%.

Селективність мембрани по відношенню до хлоридів складала 50%. Це означає, що мембрана частково пропускає молекули Cl^- , що пояснюється наближено рівними значеннями розмірів молекули води (0,3 нм) і молекули хлору Cl^- (0,37 нм) (розміри пор мембрани не більші за розміри молекули води (0,3 нм), що приводить до затримання наближених за розмірами молекул і відсіювання молекул більших розмірів).

Вживання питної води з канцерогенами, що утворюються внаслідок хлорування, яке багато років прийнято як метод дезінфекції питної води (зокрема водопровідної води), підвищує ризик захворювання раком серед тих, хто п'є хлоровану воду, на 93% вище, ніж серед тих, хто п'є воду, в якій хлор відсутній.

Важливим результатом досліджень підготовки питної води методом зворотного осмосу є підтвердження збільшення значення перманганатної окислюваності води на виході, в порівнянні зі значенням води на вході. Це явище є наслідком вимивання органічних речовин з шарів мембрани, що входять в основу її складових (мембрана складається з шарів таких органічних розчинників, як ароматичний поліамід (ПА) та полісульфон (ПС)). До того ж

головним недоліком поліамідів являється їх чутливість до вільного хлору, який викликає руйнування амідної групи. При цьому плівки із таких матеріалів мають досить велику товщину (до 150 мкм), а товсті плівки мембран призводять до різкого зниження швидкості масопереносу, тобто до зниження продуктивності зворотньоосмотичних установок.

Органічні речовини, що обумовлюють підвищене значення перманганатної окислюваності, негативно впливають на печінку, нирки, репродуктивну функцію, а також на центральну нервову та імунну системи людини.

Мембрана має низьку селективність по відношенню до таких одновалентних іонів, як NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , так як розмір молекули азоту складає 0,32 нм, що близько до розміру молекули води.

З отриманих результатів видно, що селективність мембрани відносно таких показників води, як NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , низька і складає 20,0; 25,0 і 46,0%, відповідно.

Потрапляючи до організму людини в значних кількостях, нітрати (NO_3^-) можуть викликати набряк легенів, токсичний нефрит і гепатит. При тривалому вживанні питної води, що містить нітрати, підвищується метгемоглобін, погіршуються функції крові, особливо у дітей. Виявлена пряма залежність між виникненням злоякісних пухлин та інтенсивністю надходження в організм нітратів.

Нітрити (NO_2^-) у організмі людини перетворюються на нітрозосполуки – канцерогени, що сприяють розвитку раку печінки, легенів.

Постійне вживання води з підвищеним вмістом азоту амонійного (NH_4^+) викликає хронічний ацидоз і зміни в тканинах.

Важливими для підтримки відповідного рівня екобезпеки життєдіяльності і здоров'я людини є такі компоненти питної води, як натрій та калій, рекомендоване значення концентрації яких, для фізіологічної повноцінності організму, становить від 2,0 до 20,0 мг/дм³. Дуже важливим є дотримання співвідношення між цими компонентами як 1:1, що складає в організмі людини натрієво-калієвий насос, який забезпечує транспортування амінокислот і глюкози через біологічні мембрани клітин. Він необхідний для нормальної роботи нервових закінчень, передачі нервових імпульсів і м'язової діяльності, а також для засвоєння відповідних поживних речовин організмом людини.

Нестача натрію призводить до порушення кислотно-основної рівноваги організму.

Дефіцит калію підвищує ризик виникнення порушень обмінних процесів, призводить до збою ритму скорочення серцевих м'язів.

Селективність зворотньоосмотичних мембран по відношенню до натрію і калію дуже висока і складає порядку 99%. В таблиці 2 наведені результати зміни концентрації цих компонентів після зворотного осмосу на мембрані виробництва США фірми Filmtec, що підтверджують майже повне видалення з питної води важливих для організму людини компонентів Na^+ і K^+ .

Отже, зробимо загальні висновки щодо використання зворотньоосмотичних установок для підготовки питної води на прикладі водопровідної води в готелі м. Києва.

1. В процесі доочистки зворотним осмосом водопровідної води з вихідним солевмістом близько 300,0 мг/дм³ питна вода на виході з установки майже повністю демінералізована (до 30–60 мг/дм³), причому з води майже повністю вилучаються життєво необхідні компоненти для здоров'я людини, такі

як кальцій, магній, натрій, калій (селективність мембрани по відношенню до цих компонентів складає 95–99%). Тому після зворотноосмотичної установки повинні бути передбачені стадії збагачення питної води корисними мінералами (наприклад, стадія впливу на якість питної води енергетичних полів та мінералів, а також стадія біологічної адаптації води), що складає додаткові економічні та технологічні затрати.

2. Після зворотного осмосу зменшується значення показника рН, а також значення загальної лужності води, що характеризує середовище води як кисле, яке призводить не лише до порушення функціонування організму людини, але й може спричинити корозію металу (наприклад, труби, через які транспортується питна вода).

3. Підтверджено, що в процесі зворотного осмосу з шарів мембрани, які сформовані з органічних полімерів (поліамід, полісульфон), вимиваються органічні речовини, що потрапляють безпосередньо у питну воду, яка використовується для споживання. Тому після зворотноосмотичної установки повинна бути передбачена додаткова стадія для усунення органічних речовин (наприклад, фільтри на основі активованого вугілля або іонообмінні фільтри).

4. Мембрана зворотного осмосу володіє невисокою селективністю до деяких однозарядних іонів, таких як нітрати, нітрити, азот амонійний, а також хлор (що характерний для водопровідної води), які дуже згубно впливають на життєдіяльність і здоров'я людини. Тому необхідні додаткові стадії очистки води, як наприклад для нітратів, нітритів – це фільтри на основі аніонообмінних смол.

5. Вода, що подається на зворотноосмотичну установку повинна відповідати певним вимогам: *а*) повинна бути вільна від хлору (а водопровідна вода містить хлор (Cl_2), так як піддається хлоруванню з метою знезараження). Тому перед зворотноосмотичною установкою необхідні додаткові установки передпідготовки води, як наприклад вугільні адсорбційні фільтри; *б*) значення перманганатної окислюваності не повинно бути більше $3,0 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ (а у водопровідній воді значення окислюваності може досягати до $5,0 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$), тому перед подачею води на зворотноосмотичну установку необхідна очистка води на фільтрах для усунення органічних речовин (наприклад іонообмінні фільтри, фільтри на основі активованого вугілля).

6. Зворотний осмос, незважаючи на переваги перед класичними методами водопідготовки, залишається досить не ефективним з технологічної точки зору. В середньому, система зворотного осмосу витрачає 3 літри води, щоб підготувати 1 літр очищеної води (перміат), що є технологічно не вигідним. Крім того, повинна бути передбачена технологія утилізації концентрату установки зворотного осмосу.

7. Внаслідок забруднення поверхні мембрани малорозчиненими солями, зваженими частинками, мікроорганізмами, що призводить до зниження продуктивності зворотноосмотичної установки, виникає необхідність періодичної регенерації мембран (хімічна промивка, лужна промивка, санація мембран), що потребує додаткових економічних та технологічних затрат.

Враховуючи виявлені недоліки зворотного осмосу, можна зробити висновки, що при демінералізації морської, солонуватої води чи підготовки технічної води, методи зворотного осмосу не мають конкурентів в області водопідготовки.

Що стосується доочистки водопровідної води, яка відповідає за своїми показниками нормативним значенням, застосування зворотного осмосу призводить до ряду негативних і вагомих наслідків, які необхідно враховувати як з точки зору екобезпеки життєдіяльності і здоров'я людини, так і з технологічного та економічного боку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.5-64:2012 «Інженерне обладнання будівель і споруд. Внутрішній водопровід та каналізація. Ч.І. Проектування, Ч.ІІ. Будівництво» (Проект. Остаточна редакція). – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – 2013. – 163 с.
2. ДСанПіН 2.2.4-171-10 (ДСанПіН 2.2.4-400-10). Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною: затверджено Наказом Міністерства охорони здоров'я України № 400 від 12.05.2010; введено в дію 16.07.2010. – К., 2010.
3. Secondary Drinking Water Regulation: Guidance for Nuisance Chemicals; National Primary Drinking Water Regulations – EPA's Drinking Water Standards; Appendix A – Regulated contaminants // Ground Water and Drinking Water – EPA 810/K-92-001.
4. Фомин Г.С. Вода. Контроль химической, бактериологической и радиационной безопасности по международным стандартам: Энциклопед. Справочник, 2012.
5. Директива Ради Європейського Союзу 98/83/ЕС від 03.11.1998 // Вода питна. Нормативні документи. Довідник. – Л: Леонорм, 2001. – Ч. 2. – С. 323.

Стаття надійшла до редакції 20.01.2015