

UDC 628.16.08

**Marina V. Kravchenko**, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor  
ORCID: 0000-0003-0428-6440 *e-mail*: marina-diek@ukr.net

**Olena S. Voloshkina**, Dr. Sc. (Tech.), Professor  
ORCID: 0000-0002-3671-4449 *e-mail*: e.voloshki@gmail.com

**Lesya O. Vasylenko**, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor  
*e-mail*: lesya.kiev@ukr.net

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

## **APPLICATION OF THE REVERSE OSMOSIS METHOD FOR THE PURIFICATION OF DRINKING WATER**

**Abstract.** *The article deals with the problem of clean water, as for Ukraine, which belongs to the states with a limited amount of water resources and a high level of their use. It has been substantiated that deviations from the standards of water quality, both surface and underground sources, reach 70-80%. Almost a third of the population of villages and towns of rural type in Ukraine consumes water from wells, the water in which is recognized as practically unfit for consumption, especially in terms of nitrate indicators, which have a negative impact on human health. Provided a comparative assessment of regulatory documents State sanitary norms and rules 2.2.4-171-10 "Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption" and DSTU 7525: 2014 "Drinking water. Requirements and methods of quality control", in force on the territory of Ukraine, Council Directive 98/83/EC, which regulates water quality indicators at the international level. The modern views on the structure of drinking water as a dilute aqueous solution, where water is presented in the form of giant heterophase clusters, are considered and, based on this, the terms "prepared drinking water" and "natural drinking water" are defined. The problem of optimal adjustment of the qualitative and quantitative composition of drinking water is determined, which in the modern world is solved by methods of additional purification of water at the local level. It is shown that according to the principle of operation, household water purifiers can be divided into 4 main groups, namely: installations with a mechanical filter element; household filters of the sorption type; plants of an electrochemical type and plants of a membrane type based on the reverse osmosis process, which are widely represented on the world market today and are actively used at the local level (apartments, houses, kindergartens, schools), but they have a number of features and disadvantages. The mechanism of the processes in the system "initial water – membrane – prepared drinking water" with its outlined components is presented. The consequences of the use of reverse osmosis plants for the purification of drinking water are considered on the example of tap water, which has been purified in a plant with a membrane element TW30-1812-50 manufactured by DOW Chemical (USA) at an operating pressure of 18 atm. The presented results of changes in the quantitative and qualitative composition of water, namely, its fundamental components, as a result of post-treatment by reverse osmosis. Technological and economic disadvantages of reverse osmosis plants are substantiated. It has been confirmed that the reverse osmosis method is used to demineralize water and is capable of retaining almost all ions by 92–99%, and with a two-stage purification system up to 99.9%, that is, water is prepared by reverse osmosis purified from almost all mineral salts, including useful and necessary for normal human life.*

© М.В. Кравченко, О.С. Волошкіна, Л.О. Василенко, 2021

**Keywords:** drinking water; environmental safety; drinking water quality; water purification methods; reverse osmosis; membrane; reverse osmosis disadvantages

**М.В. Кравченко, О.С. Волошкіна, Л.О. Василенко**

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

## **ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ ДЛЯ ДООЧИСТКИ ПИТНОЇ ВОДИ**

**Анотація.** В статті розглянуто проблему чистої води, яка стосується і України, що належить до держав з обмеженою кількістю водних ресурсів та високим рівнем їх використання. Обґрунтовано, що відхилення від норм якості води, як поверхневих, так і підземних джерел, сягають 70–80%. Майже третина населення сіл і міст сільського типу України споживає воду із колодязів та свердловин, вода в яких визнана практично непридатною до вживання, особливо за нітратними показниками, що здатні чинити негативний вплив на здоров'я людини. Надано порівняльну оцінку нормативних документів Державні санітарні норми і правила 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до питної води, призначеної для споживання людиною» та ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості», що діють на території України, та Директиви Ради 98/83/ЄС, якою регулюються показники якості води на міжнародному рівні. Розглянуто сучасні погляди на структуру питної води як розбавленого водного розчину, де вода представлена у вигляді гігантських гетерофазних кластерів і, виходячи з цього, дано визначення термінам «підготовлена питна вода» та «природна питна вода». Окреслено проблему оптимального коригування якісного і кількісного складу питної води, яка в сучасному світі вирішується методами доочистки води на локальному рівні. Показано, що за принципом роботи побутові водоочищувачі можна розподілити на 4 основні групи, а саме: установки, що мають механічний фільтруючий елемент; побутові фільтри сорбційного типу; установки електрохімічного типу та установки мембранного типу на основі процесу зворотного осмосу, які широко представлені сьогодні на світовому ринку та активно використовуються на локальному рівні (квартири, будинки, дитячі садки, школи), але мають ряд особливостей та недоліків. Представлено механізм протікання процесів в системі «вихідна вода – мембрана – підготовлена питна вода» з окресленими його складовими. Розглянуто наслідки використання зворотноосмотичних установок при доочистці питної води на прикладі водопровідної води, яка пройшла очистку на установці з мембранним елементом TW30-1812-50 виробництва компанії DOW Chemical (США) при робочому тискові 18 атм. 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. Підтверджено, що метод зворотного осмосу застосовується для демінералізації води та здатен затримувати практично всі іони на 92–99%, а при двоступеневій системі очистки – і до 99,9%, тобто підготовлена зворотним осмосом вода очищена практично від всіх мінеральних солей, в тому числі корисних та необхідних для нормальної життєдіяльності людини.

**Ключові слова:** питна вода; екологічна безпека; якість питної води; методи очистки води; зворотний осмос; мембрана; недоліки зворотного осмосу

**DOI:** <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.4.32-45>

## Вступ

Однією із першочергових проблем сьогодення, що стоїть перед людством поряд із глобальним потеплінням, зменшенням біорізноманітності, нестачею продовольства, перенаселенням, військовими конфліктами, є проблема наявності чистої питної води відповідної якості та в достатній кількості.

Водні ресурси нашої планети складають близько 1,5 млрд км<sup>3</sup>. Однак, з них 98% належать солоним водам Світового океану і лише 28 млн км<sup>3</sup> складають прісні води. Хоча, завдяки технологічним можливостям опріснення солоних морських вод, води океанів і солоних озер, їх можна розглядати як потенційні водні ресурси, використання яких у майбутньому є цілком можливим і навіть перспективним.

Людина постійно взаємодіє з навколишнім природним середовищем та намагається перетворити умови свого існування на більш безпечні та захищені від природних загроз, а також на більш соціально-економічно та матеріально вигідні. Така взаємодія паралельно супроводжується постійним зростанням антропогенного навантаження на навколишнє природне середовище, в тому числі і на гідросферу.

Демографічний вибух та зумовлене науково-технічним прогресом підвищення інтенсивності водокористування, поряд із глобальними кліматичними змінами на нашій планеті, являються чинниками, що створюють значний тиск на водні ресурси у планетарному масштабі. Розвиток промислового та сільськогосподарського виробництва, стрімка урбанізація та інтенсифікація використання водних ресурсів, неефективне очищення стічних вод є важливими антропогенними чинниками, які зумовлюють погіршення якості природних вод [1].

Не менш важливою є проблема нестачі якісної питної води і в Україні, яка належить до держав з обмеженою кількістю водних ресурсів та високим рівнем їх використання.

Споживання неякісної питної води може викликати різноманітні захворювання, в тому числі дуже серйозні. При вживанні такої води виникає загроза таких захворювань, як холера, дизентерія, бруцельоз, черевний тиф, псевдотуберкульоз, а також чума та туляремія. Наявність високоякісної питної води в кількості, що задовольняє основні потреби людини, є однією з умов зміцнення здоров'я людей і сталого розвитку держави. Будь-яке недотримання стандарту якості питної води може призвести до несприятливих, як короткострокових, так і довгострокових, наслідків для здоров'я і благополуччя населення. Країни, де якість питної води відповідає міжнародним стандартам, мають більш високий показник тривалості життя, в порівнянні з показником смертності. А показник захворюваності – значно нижчий, ніж в тих країнах, де питна вода є забрудненою.

## Основний матеріал

За даними ООН, Україна посідає 95-те місце серед 112 країн світу за рейтингом якості питних джерел. Щодо запасів місцевих водних ресурсів (1 тис. м<sup>3</sup> на 1 особу) Україна вважається однією з найменш забезпечених країн в Європі (в порівнянні, наприклад, Швеція, Німеччина – по 2,5 тис. м<sup>3</sup>, Великобританія – 5 тис. м<sup>3</sup>, Франція – 3,5 тис. м<sup>3</sup>, європейська частина колишнього СРСР –

5,9 тис. м<sup>3</sup>). У маловодні роки на території України формується лише 52,4 км<sup>3</sup>/рік стоку, тобто на одну людину припадає близько 1 тис. м<sup>3</sup>. За визначенням Європейської економічної комісії ООН, держава, водні ресурси якої не перевищують 1,7 тис. м<sup>3</sup> стоку на рік на одну людину, вважається не забезпеченою водою. У Канаді ця величина дорівнює 94,3 тис. м<sup>3</sup>, у Росії – 31,0 тис. м<sup>3</sup>, у Швеції – 19,7 тис. м<sup>3</sup>, у США – 7,4 тис. м<sup>3</sup>, у Білорусі – 5,7 тис. м<sup>3</sup>, у Франції – 3,4 тис. м<sup>3</sup>, в Англії – 2,5 тис. м<sup>3</sup>, у Німеччині – 1,9 тис. м<sup>3</sup>, у Польщі – 1,6 тис. м<sup>3</sup>. Тому серед 152 країн світу Україна за цим показником посідає 111-те місце [2].

Гостро стоїть разом з недостатньою кількістю і проблема якості води. Аналіз стану якості води в промислово розвинутих регіонах України, здійснений Всеукраїнською екологічною лігою, показав, що відхилення якості води від норми сягають 70–80%, а близько 70% населення України використовує для питних потреб воду із Дніпра та його приток, яка часто не відповідає нормам джерел водопостачання.

За даними Українського державного науково-дослідного інституту "УкрВОДГЕО", визначено 290 різних джерел забруднення підземних вод. Майже третина населення сіл і міст сільського типу України споживає воду із колодязів та свердловин, які розташовані поблизу промислових центрів, військових баз, складів сільськогосподарської продукції і вода в яких визнана практично непридатною до вживання [3].

Здоров'я людини значною мірою залежить саме від якості води, яку вона споживає. За даними ЮНЕСКО, Україна посідає 146-те місце в світі за середньою тривалістю життя (65,98 років). Вплив якості питної води на здоров'я людини залежить від низки факторів. По-перше, як підземні, так і поверхневі води у багатьох регіонах України за своїми фізико-хімічними показниками не відповідають вимогам стандарту на питну воду, що пов'язано не лише з природними умовами їх формування, а насамперед з антропогенним забрудненням, що викликає потребу їх очищення [4].

Особливо значною проблемою є зростання нітратного забруднення ґрунтових вод в сільській місцевості. В Україні 5,7 млн містян та 11,7 млн сільського населення споживають воду із колодязів та індивідуальних свердловин, що живляться ґрунтовими водами. У переважній більшості ці водні джерела знаходяться у незадовільному стані. В останні роки спостерігається зростання антропогенного забруднення нітратами ґрунтових вод, які без очищення споживає населення у сільській місцевості.

Ефективних методів видалення нітратів з води в умовах децентралізованого водопостачання практично не існує. Забруднення води понаднормативними концентраціями нітратів призводить до виникнення захворювання на водно-нітратну метгемоглобінемію у дітей, зниження загальної резистентності організму, що сприяє збільшенню рівня загальної захворюваності, в тому числі інфекційними та онкологічними хворобами. Відмічається зростання нітратного забруднення ґрунтових вод внаслідок ненормованого використання в колективних господарствах та у приватному секторі мінеральних та, особливо, органічних добрив.

Невдосконалені технології очистки забруднених вод, які суттєво не змінювалися протягом століть, незадовільний санітарно-технічний стан водопровідних споруд і мереж, відсоток їх зношеності, що становить у різних регіонах від 30% до 70%, несвоєчасні проведення капітальних та поточних

планово-профілактичних ремонтів вносять свій вагомий вклад в дану проблему. Тому досить актуальні сьогодні пошуки нових підходів і розробка нових ефективних технологій питного водопостачання.

На сьогоднішній день важко сказати, що таке «якісна питна вода» і якими конкретними границями, в залежності від якісного і кількісного складу, це поняття визначається.

В джерелах літератури поняття «питна вода» – це вода, склад якої за органолептичними, фізико-хімічними, мікробіологічними, паразитологічними та радіаційними показниками відповідає вимогам державних стандартів та законодавства санітарного стану, призначена для забезпечення фізіологічних, санітарно-гігієнічних, побутових та господарських потреб населення, а також для виробництва харчової продукції і, особливо, продукції дитячого харчування [5].

Ці показники регулюються як на міжнародному рівні Директивою Ради 98/83/ЄС [6], так і на державному рівні. Зокрема, в Україні діють Державні санітарні норми і правила 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до питної води, призначеної для споживання людиною», затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 12.05.2010 № 400 [5] та ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості» [7].

На основі результатів проведених наукових досліджень [8] зроблено висновок, що вищезгадані нормативні документи [5, 7] в повному обсязі не враховують деякі положення міжнародних стандартів, хоча, згідно з Угодою про асоціацію між Україною, з одного боку, і Європейським Союзом та Європейською спільнотою з атомної енергії, з іншого боку, діючий ДСТУ 7525:2014 повинен враховувати основні вимоги Директиви Ради 98/83/ЄС. Крім того, документом ДСанПін 2.2.4-171-10 диференціюються вимоги до водопровідної води, води з колодязів та фасованої води, на відміну від Директиви Ради 98/83/ЄС, яка встановлює єдині загальні вимоги до показників якості питної води, що є більш правильно, оскільки основні мінімальні вимоги до якості питної води повинні бути однаковими незалежно від джерела водопостачання.

Якісні показники рідкої води дуже залежать від її структури, яка є нестійкою, тому різні зовнішні впливи часто приводять до її зміни і, як наслідок, зміни фізико-хімічних властивостей води. Такий стан метастабільний, так як після усунення причин, які його викликають, вода з тою чи іншою швидкістю повертається до свого попереднього стану.

Останні дослідження в області структури води [9–11] свідчать про існування у воді гігантських (до 0,1 мм) впорядкованих структур – субмолекулярних комплексів, які були названі академіком В.В. Гончаруком «гігантськими гетерофазними кластерами води (ГГКВ)» [9].

Виходячи з таких новітніх знань про структуру води, можна інтерпретувати поняття «природна питна вода» і «підготовлена питна вода», розглядаючи їх як розбавлені водні розчини. Тоді формулювання цих термінів буде мати наступний вигляд.

Природна питна вода – це еволюційно сформовані джерела водопостачання, які являють собою відкриті динамічні структурно-складні системи, в яких стаціонарний стан легко порушується при будь-якому зовнішньому впливові з виникненням в таких системах перехідних станів, які характеризуються зміною структурних властивостей та, внаслідок

саморегуляції, можуть повернутися у вихідний стан або перейти в новий стаціонарний стан, а поява нової структури може розглядатися як нерівноважно фазовий перехід [12].

Підготовлена питна вода – відкриті динамічні структурно-складні кластерні системи структурованих розбавлених водних розчинів зі строго збалансованим якісним і кількісним складом та співвідношенням природних компонентів, рН середовища, які повинні бути піддані впливу енергетичних полів чи природних мінералів та біоадаптовані шляхом повільної фільтрації через фільтр з іммобілізованими на його наповнювачах пробіотичними бактеріями [12, 13].

Аналізуючи все вищесказане, постає проблема оптимального коригування якісного і кількісного складу питної води, яка в сучасному світі вирішується методами доочистки води на локальному рівні, тобто безпосередньо в місцях споживання за допомогою водоочисних систем побутового або колективного призначення.

За принципом роботи побутові водоочищувачі можна розподілити на 4 основні групи:

- установки, що мають тільки механічний фільтруючий елемент;
- установки сорбційного типу на основі активованого вугілля, активованого вугілля в комбінації з іонообмінними смолами, цеолітів та шунгітів;
- установки електрохімічного типу;
- установки мембранного та мембранно-сорбційного типу [14].

Фільтри механічної очистки води використовуються для побутових потреб та призначені лише для видалення різноманітних крупних домішок, зважених частинок, великих молекул органічних речовин, піску, іржі, суспензій тощо, які залишаються на сітці фільтра грубої очистки.

В якості матеріалу у фільтрах механічної фільтрації використовується, зазвичай, поліпропіленове волокно у вигляді блоку картриджа, який підлягає заміні після закінчення його експлуатаційних можливостей.

Установки сорбційного типу використовуються у водопідготовці для освітлення води і поліпшення її органолептичних якостей, видалення органічних речовин, солей важких металів, дехлорування, шляхом видалення розчинених органічних речовин і газів.

Сорбційним матеріалом для завантаження водоочисних фільтрів найчастіше служить активоване вугілля самостійно або у поєднанні з волокнистим (поліпропіленовим) механічним фільтром. Окрім активованого вугілля, у фільтрах можуть використовуватися й інші сорбційні матеріали (мінеральні, органічні, природні та штучні), що відрізняються за селективністю дії та сорбційною ємністю, фізико-механічними, хімічними та іншими властивостями [14].

У побутових ємнісних фільтрах (як наприклад, «Аквафор», «Бріта» та «Бар'єр») у якості завантаження картриджа найчастіше використовується поєднання активованого вугілля з іонообмінними смолами, які використовують для пом'якшення води завдяки своїй властивості обмінювати власні іони на іони розчину.

Щодо ефективності роботи таких фільтрів, то, згідно з науковими дослідженнями [14], найкращі результати з ефективністю у 100% на всіх водоочищувачах досягаються за органолептичними показниками (запах,

присмак, каламутність). Ступінь видалення з води на фільтрах заліза знаходиться в межах 62–76%, солей жорсткості – 50–69%. Відмічається селективність дії фільтрів до солей важких металів, зокрема до цинку, вміст якого у воді знижується на 88–98%. Ефективність водоочищувачів щодо інших показників якості води (хлориди, сульфати, нітрати, хлороформ) знаходиться в межах 50%, тобто побутові ємнісні фільтри покращують в основному загальні якості води, не коригуючи при цьому основне – фізико-хімічний склад на молекулярному рівні. Також іонообмінні фільтри потребують постійної регенерації іонів та відносно великих витрат дорогих реагентів.

Крім найбільш поширених побутових фільтрів очистки води на основі сорбційних методів чи іонного обміну, є побутові водоочисні системи, в яких використовуються електрохімічні методи або їх комбінації з іншими методами. Найпоширенішим методом в таких водоочищувачах є метод електролізу. За допомогою електричного струму вода розкладається на кисень і водень, в результаті чого руйнуються органічні речовини, відбувається видалення важких металів та інших неорганічних речовин.

Як свідчать отримані дані [14], електрохімічна доочистка водопровідної води забезпечує ефективне видалення солей жорсткості, заліза, міді. Інші показники мінерального складу питної води (загальна мінералізація, сульфати, нітрати, а також органічні речовини) видаляються менш ефективно (в межах 10–30%). Тому застосування таких фільтрів є ефективним та раціональним лише у тих регіонах, де водопровідна вода має значні відхилення від нормативів за показниками загальної жорсткості та заліза.

Із сучасних технологій очистки води найбільшого розвитку і поширення на сьогодні отримали установки на основі баромембранних методів, зокрема методу зворотного осмосу, який є економічно привабливим і широко використовуваним на всіх рівнях, особливо локальному (дитячі садки, школи, готелі, окремі будинки та квартири). Досить розповсюджено метод зворотного осмосу використовується в основі модуля підготовки води, що входить до загальної технологічної схеми автоматів очистки води для систем самообслуговування, які є дуже поширені у громадських місцях та організаціях. Проте постає ряд невирішених питань та особливостей, що стосуються саме доочистки питної води методом зворотного осмосу.

Здійснення процесу зворотного осмосу потребує двох основних умов: наявності багатшарової, композитної, полімерної мембрани, яка включає підложку, шар гідрофобного полімеру й активні шари, та підтримки відповідної різниці тиску з обох боків мембрани, причому з можливістю точного вимірювання значень тиску і зменшення явища концентраційної поляризації.

В установках зворотного осмосу використовуються ацетат-целюлозні, поліамідні, композитні тонкоплівкові мембрани, які формують світовий ринок, в основному за рахунок продукції відомих фірм країн Заходу і Японії, таких як Filmtec, Hydranautics, Nitto Denko, Toray Inc, Koch Membrane Systems.

Оскільки мембрани чутливі до забруднення в результаті відкладень малорозчинних солей і мікрочастинок на їх поверхні, то для запобігання цьому практично в усіх водоочисних установках перед зворотноосмотичною мембраною обов'язково встановлюють попередній фільтр, який поєднує механічну та сорбційну очистку, що дозволяє значно продовжити термін основного циклу роботи мембрани до циклу її відновлення.

Механізм протікання процесу зворотного осмосу в системі «вихідна вода – мембрана – підготовлена питна вода» зображено на рисунку 1.

Основними складовими механізму протікання зворотного осмосу є:

1 – рушійна сила процесу у вигляді прикладеного тиску в межах 0...60 атм, який забезпечує сумісне протікання процесів фільтрації і теоретичної їх основи;

2 – вихідна вода, яка потребує коригування фізико-хімічного складу;

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

4 – поліамідний шар з водою в об'ємі мембрани;

5 – шар полісульфону на поверхні підложки мембрани;

6 – шар полісульфону в об'ємі підложки мембрани;

7 – підготовлена (питна) вода, фізико-хімічний склад якої скоригований мембраною;

8 – вихід підготовленої (питної) води.

Згідно з представленим механізмом, протікання процесу зворотного осмосу полягає в тому, що рушійною силою є прикладений тиск, який забезпечує фільтрацію, а мембрана, завдяки своїй універсальній селективності, видаляє компоненти розбавленого водного розчину і створює, внаслідок своєї структури, опір фільтрації.

Однак і в такого ефективного та перспективного методу підготовки питної води, як зворотний осмос, існує ряд недоліків, причому деякі з них мають серйозний характер, так як справляють безпосередній вплив на життєдіяльність та здоров'я людини.

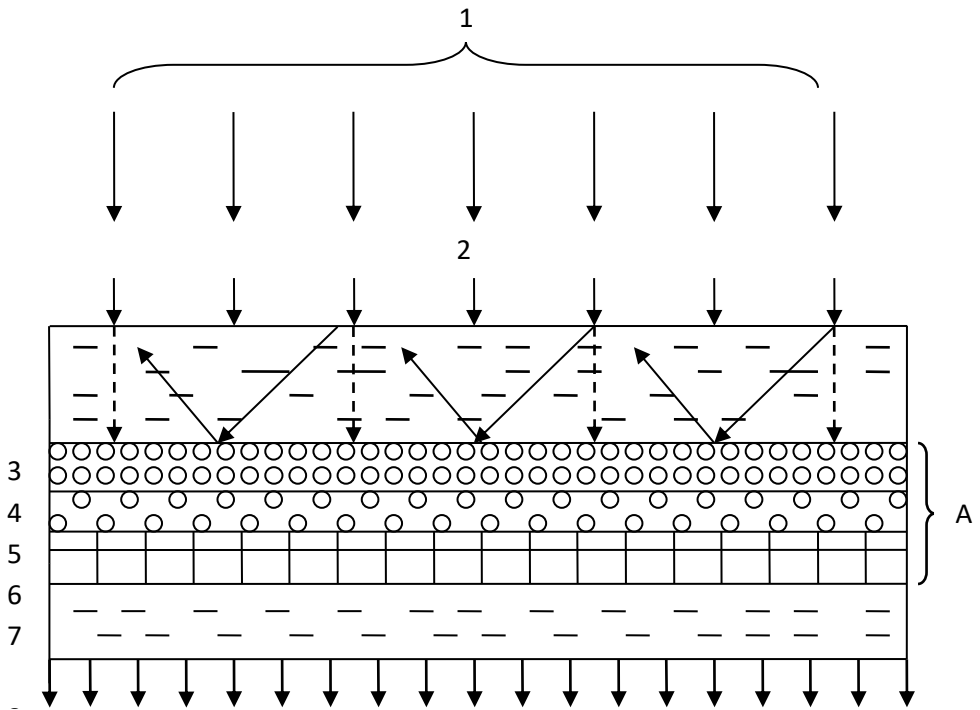


Рис. 1 – Механізм протікання процесів в системі «вихідна вода – мембрана – підготовлена питна вода»



По-перше, невеликі за розміром пори мембрани здатні затримувати частки більших розмірів, такі як солі жорсткості, нітрати, сульфати, але пропускають такі небезпечні хімічні речовини, як пестициди, гербіциди, хлор, які молекулярно менше води. Ці хімічні речовини можуть вільно проходити через пористу мембрану. Тому в якості додаткової стадії очистки води для забезпечення безпеки питної води в процесі зворотного осмосу повинен використовуватися фільтр сорбційного типу.

Зворотний осмос також витрачає велику кількість води, яка проходить через його систему. Зазвичай у побутовій зворотноосмотичній установці забирається біля 9–13 літрів води на кожен літр очищеної води. Також, у порівнянні з іншими альтернативними методами очистки води, зворотний осмос є досить повільним процесом, що використовує резервуар для зберігання води, який повинен бути ретельно очищений, щоб не стати живильним середовищем для бактерій та інших мікроорганізмів.

Проте, як свідчать наведені в таблиці 1 дані, в результаті доочищення водопровідної води методом зворотного осмосу з використанням мембрани американської фірми Filmtec типу TW30-1812-50, при робочому тискові 18 атм повністю зникає запах, присмак, колірність та каламутність, загальна жорсткість знижується на 90–94%, вміст заліза – практично на 100%. Концентрації і співвідношення фундаментальних компонентів питної води  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$  вирівнялися майже до 1:1 (в середньому 4,0 і 4,0 мг/дм<sup>3</sup>). Селективність мембрани по відношенню до сульфатів склала 25%. Важливим результатом є збільшення значення перманганатної окислюваності в перших пробах, що є наслідком вимивання органічних речовин з мембрани, що входять в основу її складових.

Таблиця 1 – Зміна показників водопровідної води з часом після зворотного осмосу на мембрані Filmtec типу TW30-1812-50 при тиску P = 18 атм

Показники	Вихідна вода (водопровідна вода, профільтрована через активоване вугілля типу АГ)	Вода після зворотного осмосу P = 18 атм, мембрана Filmtec	ДСанПіН 2.2.4-171-10 [5]	Директива Ради ЄС 98/83 від 03.11.1998 [6]
1	2	3	4	5
Каламутність, мг/дм <sup>3</sup>	0,5	Відс.	≤ 1,0	
Колірність, град	13,0	Відс.	≤ 20	
Водневий показник рН	7,62	5,53	6,5–8,5	≥ 6,5 та ≤ 9,5
Лужність ( $\text{HCO}_3^-$ ), мг/дм <sup>3</sup>	161,0	48,8		
Сульфати ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), мг/дм <sup>3</sup>	110,4	83,2	≤ 250	≤ 250
Хлориди ( $\text{Cl}^-$ ), мг/дм <sup>3</sup>	32,0	14,2	≤ 250	≤ 0,25
Жорсткість загальна, мг-екв/дм <sup>3</sup>	4,32	0,43	≤ 7,0	≤ 1,2

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5
Магній ( $Mg^{2+}$ ), мг/дм <sup>3</sup>	12,64	4,0		$\leq 50$
Кальцій ( $Ca^{2+}$ ), мг/дм <sup>3</sup>	65,7	4,0		$\leq 100$
Залізо ( $Fe^{3+}$ ), мг/дм <sup>3</sup>	0,15	0,002	$\leq 0,2$	$\leq 0,2$
Нітрати ( $NO_3^-$ ), мг/дм <sup>3</sup>	Відс.	Відс.	$\leq 50,0$	$\leq 50,0$
Нітрити ( $NO_2^-$ ), мг/дм <sup>3</sup>	Відс.	Відс.	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$
Азот амонійний ( $NH_4^+$ ), мг/дм <sup>3</sup>	Відс.	Відс.	$\leq 0,5$	$\leq 0,0005$
Окислюваність ( $KMnO_4$ ), мг/дм <sup>3</sup>	1,36	2,24	$\leq 5,0$	$\leq 5,0$
Мінералізація загальна, мг/дм <sup>3</sup>	301,2	129,8	$\leq 1000$	

Таким чином, вода після зворотного осмосу піддалась настільки глибокій очистці, що позбавилась практично всіх мінеральних солей, в тому числі корисних і необхідних для нормальної життєдіяльності людини.

В діючому на території України з 2010 року документі, який регламентує якість питної води [5], окрім вимог до якості, представлені ще й показники фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води і нормативи з вмісту компонентів, які його характеризують. Це дозволяє говорити про оптимальний склад питної води. Разом з тим, слід відмітити, що ці положення стандарту носять лише рекомендаційний характер. В разі перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) будь-якої речовини виникає загроза для здоров'я. Але погано й інше – коли концентрація якого-небудь елементу менша, ніж його необхідно для нормального функціонування організму.

На думку фахівців Всесвітньої Організації Охорони Здоров'я (ВООЗ), вода після зворотного осмосу – це вода для «приготування їжі, напоїв і для технічних цілей», але ніяк не вода для пиття. Ще в середині сімдесятих років минулого століття, ВООЗ ухвалила ряд документів, згідно з якими демінералізована вода, яку спочатку отримували методом дистиляції, а потім методом зворотного осмосу, повинна використовуватися для промислових, технічних і лабораторних цілей. В даному випадку під демінералізованою водою мається на увазі вода, яка повністю або майже повністю звільнена від розчинених мінералів різними методами (дистиляція, деіонізація, мембранна фільтрація, яка включає зворотний осмос). Оброблена будь-яким таким методом природна питна вода не придатна для вживання у якості питної без додаткового збагачення її мінеральними компонентами [15].

Давно доведено, що ряд природних (неорганічних) компонентів, присутніх у природній питній воді, важливі для організму людини. Згідно з даними ВООЗ можливі наслідки від вживання води, збідненої мінеральними компонентами, можна розділити на такі категорії [15]:

– безпосередній вплив на слизову оболонку кишківника, метаболізм і гомеостаз мінеральних речовин та на інші функції організму;

- недостатність або відсутність надходження кальцію і магнію;
- недостатнє надходження інших макро- і мікроелементів;
- втрата кальцію, магнію та інших мікроелементів в процесі приготування їжі;
- можливе накопичення в організмі токсичних металів.

Вода з низьким значенням мінералізації нестабільна і, як наслідок, проявляє високу агресивність по відношенню до речовин, з якими вона контактує. Така вода легше розчиняє метали і деякі органічні компоненти труб, ємностей, шлангів, вторинно забруднюючись, таким чином, різними токсичними елементами. Людина, яка вживає питну воду, збіднену мінеральними речовинами, завжди більше наражається на небезпеку впливу токсичних речовин, ніж та, яка вживає воду середньої жорсткості і мінералізації.

## **Висновки**

Якість питної води відноситься до важливого фактору екологічної безпеки, а, відповідно, і національної безпеки України. З розвитком цивілізації та науково-технічного прогресу постійно зростає загроза екологічній безпеці для всієї планети. Зокрема, це стосується і забруднення гідросфери, наслідками якого є порушення екобезпеки життєдіяльності та здоров'я людини, що обумовлено, в першу чергу, якісним і кількісним складом питної води та процесами, що в ній протікають.

Людство з розвитком цивілізації та внаслідок антропогенної діяльності забруднило всі поверхневі води, а тепер намагається змінити катастрофічну ситуацію з питною водою шляхом застосування різних методів очистки. На жаль, відновити екологічну чистоту природної води практично неможливо через низку принципівих причин, а застосування різноманітних установок з очистки води, вибір яких на сьогодні є дуже великий, не здатне повернути воді її природну якість із фізико-хімічним складом, що повністю задовольняє фізіологічні потреби людини.

Метод зворотного осмосу отримав найбільше розповсюдження серед методів доочистки води. Він застосовується для демінералізації води та здатен затримувати практично всі іони на 92–99%, а при двоступеневій системі – і до 99,9%. Проте застосування побутових мембранних фільтрів на локальному рівні, наприклад, для доочищення водопровідної води, яка не потребує поліпшення за показниками сухого залишку, хлоридів, сульфатів тощо, є недоцільним, оскільки в результаті цього отримується питна вода, що за своїм мінеральним складом не відповідає фізіологічній повноцінності та при тривалому споживанні може негативно впливати на стан здоров'я людини. Наприклад, в м. Києві немає потреби у використанні таких фільтрів для доочищення питної води, оскільки її мінералізація знаходиться в межах оптимальних значень. Для поліпшення якості питної води, що містить в собі підвищений вміст органічних речовин, достатньо використання фільтрів на основі сорбційних або сорбційно-іонообмінних методів.

Крім заходів з покращення якості води міських мереж, можна зазначити рекомендації використовувати побутові фільтри для підтримки якості води у власних квартирах.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Снітинський В. В. Сучасний стан та екологічні проблеми водних ресурсів України [Електронний ресурс] / В. В. Снітинський, Г. Л. Антоняк, Т. В. Багдай, О. Є. Бубис, Н. Є. Панас // Науково-технічний журнал: журнал агробіології та екології. – 2014. – Том 4, № 1. – С. 9–16. – Режим доступу до ресурсу: <http://lnau.lviv.ua/lnau/files/visnuku/jurnal%20агробіології%20та%20екології.pdf#page=11>. – Дата звернення: 06.06.2021.
2. Лотоцька О. В. Гігієнічні проблеми водопостачання у Тернопільській області [Електронний ресурс] / О. В. Лотоцька, В. А. Кондратюк, В. О. Паничев // Довкілля та здоров'я. – 2018. – №1 (85). – С. 36–40. – Режим доступу до ресурсу: <https://cyberleninka.ru/article/n/gigienichni-problemi-vodopostachannya-u-ternopilskiy-oblasti/viewer>. – Дата звернення: 08.06.2021.
3. Проблема питної води в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://awtherm.com.ua/problem-a-pitnoyi-vodi-v-ukrayini/>. – Дата звернення: 18.06.2021.
4. Лотоцька О. В. Якість питної води як одна з детермінант громадського здоров'я в Західному регіоні України / О. В. Лотоцька, В. А. Кондратюк, С. В. Кучер // Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України. – 2019. – № 1 (79). – С. 12–18.
5. 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 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>. – Дата звернення: 18.06.2021.
6. On the quality of water intended for human consumption: Council Directive 98/83/EU of 3 November 1998 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_963#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_963#Text). – Дата звернення: 21.06.2021.
7. ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/1-10672-dstu\\_voda\\_pytna.pdf](https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/1-10672-dstu_voda_pytna.pdf). – Дата звернення: 21.06.2021.
8. Yermolenko V. Quality of drinking water in rural areas: problems of legal environment / V. Yermolenko, O. Hafurova, M. Deineha, T. Novak, A. Temnikova, E. Naidansuren // Second International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2021), Volume 280, 2021 / <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128009022>. – P. 1–6.
9. Гончарук В. В. Кластеры и гигантские гетерофазные кластеры воды [Електронний ресурс] / В. В. Гончарук, В. Н. Смирнов, А. В. Сыроешкин, В. В. Маляренко // Химия и технология воды. – 2007. – Т. 29, № 1. – С. 3–17. – Режим доступу: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/5492/01-Goncharuk.pdf?sequence=1>. – Дата звернення: 03.07.2021.
10. 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.
11. Сыроешкин А. В. Вода как гетерогенная структура / А. В. Сыроешкин, А. Н. Смирнов, В. В. Гончарук, Е. В. Успенская, Г. М. Николаев, Н. И. Попов, Т. В. Кармазина, А. О. Самсоны-Тодоров, В. В. Маляренко, В. Б. Лапшин // Электр. ж-л.: Исследовано в России. – 2006. – С. 843–854.
12. Kravchenko M. Preparation of quality drinking water as a basis of the environmental safety and human health / M. Kravchenko // Environmental problems: Scientific journal. – Lviv, Ukraine: LPNU, 2016. – Volume 1, number 1. – P. 57–60. – Bibliography: 12 titles.
13. Гвоздяк П. І. Методи водопідготовки: імперативи еволюції та біохімія води / П. І. Гвоздяк // Вісник НАНУ. – 2010, №2. – С. 14–17.
14. Прокопов В. О. Досвід використання в Україні побутових фільтрів для доочищення водопровідної питної води [Електронний ресурс] / В. О. Прокопов, О. Б. Липовецька // Гігієна населених місць. – 2013. – № 62. – С. 68–80. – Режим доступу:

file:///C:/Users/admin/Downloads/gnm\_2013\_62\_15%20(1).pdf. – Дата звернення: 13.07.2021.

15. Курик М. В. Критерии качества питьевой воды. Физика сознания и жизни, космология и астрофизика воды [Электронный ресурс]. – 2012. – №3. – С. 5–8. Режим доступа: file:///C:/Users/admin/Downloads/104-Article%20Text-111-1-10-20151110.pdf. – Дата звернення: 13.07.2021.

Стаття надійшла до редакції 13.05.2021 і прийнята до друку після рецензування 30.09.2021

## REFERENCES

1. Snitinskiy, V. V., Antonyak, G. L., Bagday, T. V., Bubis, O. J., & Panas, N. J. (2014). Current state of ecological problems of water resources of Ukraine. *Science and Technology Journal: Journal of Agrobiology and Ecology (Ukraine)*, 4 (1), 9-16. Retrieved June 06, 2021, from <http://lnau.lviv.ua/lnau/files/visnuku/jurnal%20агробіології%20та%20екології.pdf#page=112>
2. Lototska, O. V., Kondratyuk, V. A., & Panichev, V. O. (2018). Hygienic problems of water supply in Ternopil region. *Environment and health (Ukraine)*, 1(85), 36-40. Retrieved June 08, 2021, from <https://cyberleninka.ru/article/n/gigienichni-problemi-vodopostachannya-u-ternopilskiy-oblasti/viewer>.
3. The problem of drinking water in Ukraine. Retrieved June 18, 2021 from: <https://aw-therm.com.ua/problema-pitnoyi-vodi-v-ukrayini/> (in Ukrainian).
4. Lototska, O. V., Kondratyuk, V. A., & Kucher, S. V. (2019). Quality of drinking water as one of the determinants of public health in the Western region of Ukraine. *Bulletin of social hygiene and health care organizations of Ukraine (Ukraine)*, 1(79), 12-18 (in Ukrainian).
5. Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption: DSanPiN 2.2.4-171-10 (2010). Kyiv: Ministry of Health of Ukraine (in Ukrainian).
6. On the quality of water intended for human consumption: Council Directive 98/83/EU of 3 November 1998. European Council.
7. Drinking water. Requirements and methods of quality control: DSTU 7525: 2014 (2014). Kyiv: Institute of Colloid Chemistry and Water Chemistry A.V. Dumansky NAS of Ukraine (in Ukrainian).
8. Yermolenko, V., Hafurova, O., Deineha M., Novak T., Temnikova A., & Naidansuren E. (2021). Quality of drinking water in rural areas: problems of legal environment. In *Second International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (Ukraine)*, 280, 1-6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128009022>
9. Goncharuk, V. V., Smirnov, V. N., Syroeshkin, A. V., & Malyarenko, V. V. (2007). Clusters and giant heterophase water clusters. *Chemistry and Technology of Water*, 29(1), 3-17. Retrieved July 3, 2021, from <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/5492/01-Goncharuk.pdf?sequence=1>.
10. Smirnov, A. N., Lapshin, V. B., Balyshv, A. V., Lebedev, I. M., Goncharuk, V. V., & Syroeshkin, A. V. (2005). Water structure: giant heterophase water clusters. *Chemistry and technology of water (Ukraine)*, 2, 11-37.
11. Syroeshkin, A. V., Smirnov, A. N., Goncharuk, V. V., Uspenskaya, E. V., Nikolaev, G. M., Popov, N. I. et al. (2006). Water as a heterogeneous structure. *Elektr. zh-l.: Researched in Russia*, 843-854 (in Russian).
12. Kravchenko, M. (2016). Preparation of quality drinking water as a basis of the environmental safety and human health. *Environmental problems: Scientific journal (Ukraine)*, 1(1), 57-60.
13. Gvozdyak, P. I. (2010). Methods of water preparation: imperatives of evolution and biochemistry of water. *Visnyk of NASU (Ukraine)*, 2, 14-17.

14. Prokopov, V. O., & Lipovetskaya, O. B. (2013). Experience of using household filters in Ukraine for additional treatment of tap drinking water. *Hygiene of populated areas (Ukraine)*, 62, 68-80. Retrieved July 13, 2021, from file:///C:/Users/admin/Downloads/gnm\_2013\_62\_15%20(1).pdf.

15. Kurik, M. V. (2012). Criteria for the quality of drinking water. *Physics of consciousness and life, cosmology and astrophysics of water*, 3, 5-8. Retrieved July 13, 2021, from file:///C:/Users/admin/Downloads/104-Article%20Text-111-1-10-20151110.pdf (in Ukrainian).

*The article was received 13.05.2021 and was accepted after revision 30.09.2021*

**Кравченко Марина Василівна**

кандидат технічних наук, доцент кафедри охорони праці та навколишнього середовища Київського національного університету будівництва і архітектури

**Адреса робоча:** 03037 Україна, м. Київ, пр. Повітрофлотський, 31

ORCID ID: 0000-0003-0428-6440 **e-mail:** marina-diek@ukr.net

**Волошкіна Олена Семенівна**

доктор технічних наук, професор кафедри охорони праці та навколишнього середовища Київського національного університету будівництва і архітектури

**Адреса робоча:** 03037 Україна, м. Київ, пр. Повітрофлотський, 31

ORCID ID: 0000-0002-3671-4449 **e-mail:** e.voloshki@gmail.com

**Василенко Леся Олексіївна**

кандидат технічних наук, доцент кафедри охорони праці та навколишнього середовища Київського національного університету будівництва і архітектури

**Адреса робоча:** 03037 Україна, м. Київ, пр. Повітрофлотський, 31

**e-mail:** lesya.kiev@ukr.net