

ABSTRACT

Explanatory note 91 p.; 25 fig.; 27 tab.; 1 application; 36 references.

Object of study – domestic reverse osmosis system with low productivity, reverse osmosis membrane elements and minerals for the correction of the mineral composition of the water.

Subject of the study – mineral dissolution processes of reverse osmosis permeate.

The method of research – experimental, including the study of the process of desalination of water on the domestic reverse osmosis systems and the dissolution of the several minerals by permeate.

Purpose of study – research the process and development the technology of water mineralization water after domestic reverse osmosis systems to the level of usefulness of the physiological requirements for artificially demineralized water.

Aim of research – to explore the process of desalination by reverse osmosis systems and the process of dissolution of different minerals by permeate for optimal selection; develop the technology of water mineralization and create an experimental system.

The novelty of the work – the desire time of contact permeate with the mineral was set to ensure the effective and balanced mineralization, proposed to modify the system of domestic reverse osmosis in which the location of mineralize cartridge was change.

REVERSE OSMOSIS, MEMBRANE ELEMENT, MINERALIZATION,
PHYSIOLOGICALLY COMPLETE WATER, CALCITE, COROSEX

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: 91 с.; 25 рис.; 27 табл.; 1 приложение; 36 ссылок.

Объект исследования – бытовая система обратного осмоса малой производительности, мембранные элементы обратного осмоса и минералы наполнители для коррекции минерального состава воды.

Предмет исследования – процессы растворения минералов пермеатом обратного осмоса.

Метод исследования – экспериментальный, включающий исследование процесса обессоливания воды на бытовых системах обратного осмоса и растворение ряда минералов пермеатом.

Цель работы – исследование процесса и разработка технологии доминерализации воды после бытовой системы обратного осмоса до уровня требований по физиологической полноценности для искусственно обессоленной воды.

Задачи исследования – исследовать процесс обессоливания воды с помощью обратного осмоса и процесс растворения различных минералов пермеатом для выбора оптимальных; разработать технологию доминерализации пермеата бытовой системы обратного осмоса с использованием картриджа, заполненного оптимальным материалом и создать пилотную установку.

Новизна работы – установлено необходимое время контакта пермеата с минералом для обеспечения эффективной и сбалансированной доминерализации, предложено модифицированную установку бытового обратного осмоса с изменением расположения картриджей-минерализаторов.

ОБРАТНЫЙ ОСМОС, МЕМБРАННЫЙ ЭЛЕМЕНТ,
ДОМИНЕРАЛИЗАЦИЯ, ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЛНОЦЕННОСТЬ ВОДЫ,
CALCITE, COROSEX

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 91 стор.; 25 рис.; 27 табл.; 1 додаток; 36 посилань.

Об'єкт дослідження – побутова система зворотного осмосу малої продуктивності, мембранні елементи зворотного осмосу та мінерали наповнювачі для корекції мінерального складу води.

Предмет дослідження – процеси розчинення мінералів пермеатом зворотного осмосу.

Метод дослідження – експериментальний, що включає дослідження процесу знесолення води на побутових системах зворотного осмосу та розчинення ряду мінералів пермеатом.

Мета роботи – дослідження процесу та розробка технології домінералізації води після побутової системи зворотного осмосу до рівня вимог по фізіологічній повноцінності для штучно знесоленої води.

Задачі дослідження – дослідити процес знесолення води за допомогою зворотного осмосу та процес розчинення різних мінералів пермеатом для вибору оптимальних; розробити технологію домінералізації пермеату побутової системи зворотного осмосу з використанням картриджу, заповненого оптимальним матеріалом і створити пілотну установку.

Новизна роботи – встановлено необхідний час контакту пермеата з мінералом для забезпечення ефективної та збалансованої домінералізації, запропоновано модифіковану установку побутового зворотного осмосу зі зміною розташування картриджів-мінералізаторів.

ЗВОРОТНИЙ ОСМОС, МЕМБРАННИЙ ЕЛЕМЕНТ,
ДОМІНЕРАЛІЗАЦІЯ, ФІЗІОЛОГІЧНА ПОВНОЦІННІСТЬ ВОДИ, CALCITE,
COROSEX

ЗМІСТ

	стор.
Перелік скорочень	6
Вступ.....	7
1 Аналітичний огляд літератури.....	9
1.1 Поточна ситуація щодо стану водопостачання в Україні.....	9
1.2 Децентралізовані системи очищення води.....	12
1.3 Побутові фільтри для очищення води	13
1.4 Побутові мембранні системи очищення води.....	15
1.4.1 Мембранні методи очищення води	15
1.4.2 Переваги та недоліки зворотного осмосу	17
1.4.3 Фізіологічна повноцінність води.....	19
1.5 Методи домінералізації води після системи зворотного осмосу	22
2 Постановка мети та задач дослідження	23
3 Характеристика об'єктів дослідження.....	24
3.1 Побутова система зворотного осмосу малої продуктивності	24
3.2 Мембранні елементи зворотного осмосу.....	27
3.3 Мінерали	30
4 Методики дослідження.....	31
4.1 Методика тестування мембранних елементів.....	31
4.2 Методика дослідження процесу розчинення мінералів у статичних умовах .	33
4.3 Визначення кінетичних характеристик процесу розчинення мінералів в статичних умовах	33
4.4 Методика дослідження процесу домінералізації пермеату зворотного осмосу в динамічних умовах.....	35
5 Результати та їх обговорення.....	37
5.1 Порівняльні дослідження процесу зворотноосмотичного знесолення на різних мембранних елементах	37
5.2 Порівняльні дослідження процесу розчинення мінералів	38
5.3 Визначення кінетичних характеристик процесу розчинення.....	39
5.4 Математичний опис процесу розчинення мінералів у воді	46
5.5 Дослідження процесу домінералізації води шляхом її послідовного контакту з мінералами	52
5.6 Вивчення процесу домінералізації води в динамічних умовах.....	53

5.7	Пілотні випробування запропонованої схеми.....	58
6.	Розробка технології домінералізації води	60
7	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	63
7.1	Охорона праці.....	63
7.1.1	Виявлення та аналіз шкідливих і небезпечних факторів. Заходи охорони праці.....	63
7.1.1.1	Повітря робочої зони	63
7.1.1.2	Освітлення робочої зони	66
7.1.1.3	Захист від виробничого шуму та вібрації.....	67
7.1.1.4	Електробезпека.....	67
7.2	Безпека у надзвичайних ситуаціях	70
7.2.1	Пожежна безпека.....	70
7.2.2	Безпека експериментальної частини	72
7.2.3	Аналіз небезпеки об'єкту	72
8	Економічні розрахунки.....	75
8.1	Розрахунок собівартості виконання дипломної роботи.....	75
8.1.1	Вартість матеріалів, що використовуються при виконанні дипломної роботи	75
8.1.2	Розрахунок витрат на опалення.....	76
8.1.3	Вартість електроенергії, витраченої при виконанні дипломної роботи.....	76
8.1.4	Розрахунок адміністративно-управлінських витрат.....	77
8.1.5	Заробітна плата виконавців дипломної роботи.....	78
8.1.6	Витрата на основні фонди для виконання НДР	79
8.2	Функціонально-вартісний аналіз.....	81
8.3	Висновки до розділу	84
	Висновки	85
	Перелік посилань.....	87
	Додаток А.....	91

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ЗО – зворотний осмос

ПСЗО – побутова система зворотного осмосу

МЕ – мембранний елемент

ЗСВ – загальний солевміст

ВСТУП

Проблеми якості питної води за останні десятиріччя стали до ряду найважливіших проблем планетарного рівня. Другою по значущості після скорочення запасів питної води, являється проблема різкого погіршення її якості. На третьому місці – глобальні проблеми муніципального водопостачання, пов'язані не лише з використанням застарілих технологій та зруйнованою інфраструктурою, а і з проблемою вторинного забруднення води при її транспортуванні. Тому на сьогоднішній день локальну підготовку води питної якості вже розглядають як альтернативу централізованим системам, а не лише як інструмент для доочищення води.

Пошуки універсального рішення, яке б гарантувало з одного боку можливість практично безмежного розширення джерел видобутку питної води за рахунок використання запасів світового океану, а з другого – безпеку питної води протягом всього періоду експлуатації, приводять до систем зворотного осмосу, які являються абсолютним бар'єром, повністю затримуючи мікроорганізми і забезпечуючи глибоке видалення всіх розчинених домішок. Тому на сьогоднішній день ми спостерігаємо стрімкий розвиток і широке розповсюдження технології зворотного осмосу в сфері підготовки питної води.

Сучасні мембрани характеризуються селективністю 97-99,9 %. Таким чином, в результаті використання систем зворотного осмосу, ми отримуємо абсолютно чисту воду, що не містить шкідливих домішок, в т. ч. бактерій та вірусів, але в той же час – це знесолена вода. Як правило побутові мембранні елементи забезпечують зниження загального солевмісту до рівня 5-7 мг/дм³.

Сьогодні достовірно відомо, що з питною водою людина отримує від 8 до 25 % добової норми мінеральних речовин, а основну частину – з їжею. В той же час при голодуванні чи дієтичному харчуванні регулярне використання демінералізованої води може негативно впливати на здоров'я людини. Дослідження останніх років показали, що фізіологічно повноцінна питна вода має містити мінерали в такій кількості, щоб загальний солевміст був не менше

100 мг/дм³, а загальна твердість – не менше 1 ммоль/дм³. Саме такі вимоги сформульовані в основному документі, що регламентує показники якості питної води в Україні – ДСанПіН 2.2.4-171-10, відносно фізіологічної повноцінності штучно знесоленої питної води.

З урахуванням зазначеного слід признати, що оптимальним рішенням на сьогодні являється використання води, очищеної методом зворотного осмосу, з наступною домінералізацією, тобто – донасиченням мінеральними речовинами для досягнення фізіологічної повноцінності. Існує декілька методів корегування мінерального складу пермеату зворотного осмосу. Найбільш розповсюдженим та надійним є додавання виготовленого за спеціальною рецептурою розчину солей необхідних мінералів до пермеату в автоматичному режимі за допомогою насоса-дозатора. Цей метод успішно використовується в установках середньої та великої продуктивності, проте він не є придатним для побутових систем ЗО з конструктивних причин.

Для побутових фільтрів зворотного осмосу використовують єдиний та досить простий спосіб домінералізації води, а саме – її пропускання через побутові картриджі-мінералізатори, заповнені гранульованими мінералами, найчастіше кальцитом або доломітом. Вода, проходячи через мінерали, частково розчиняє їх, збагачуючись корисними компонентами. Проте, як показує досвід експлуатації, рівень мінералізації води, пропущеної через картридж з гранулами мінералів, зростає максимум до 20 мг/дм³, тобто залишається значно нижче рівня вимог. Приймаючи до уваги дуже швидке зростання популярності ПСЗО, слід визнати проблему доведення якості води, одержаної за допомогою таких систем, до рівня відповідних вимог вельми актуальною.

Метою даної роботи є дослідження процесу та розробка технології домінералізації води після побутової системи зворотного осмосу до рівня вимог по фізіологічній повноцінності для штучно знесоленої води.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Поточна ситуація щодо стану водопостачання в Україні

Питна вода – один з найважливіших факторів здоров'я людини. Проблема якості питної води для України була і залишається вкрай актуальною і надзвичайно гострою [1].

Україна належить до найменш забезпечених власними водними ресурсами країн Європи і є одним з регіонів зі значним антропогенним навантаженням на водні джерела та нестачею достатньої кількості прісної води. За визначенням Європейської економічної комісії ООН, держава, водні ресурси якої не перевищують 1,5 тис. м³ на людину, вважається не забезпеченою водою. В Україні питома величина місцевого стоку в маловодний рік у розрахунку на одного мешканця становить лише 0,52 тис. м³ [2,3].

Але недостатня забезпеченість водними ресурсами не єдина наша проблема. Моніторинг якості води поверхневих водойм свідчить про те, що їхній екологічний стан практично не покращується. У середньому в країні відмічається тенденція до погіршення стану водойм І категорії за мікробіологічними показниками [1-3].

Питома вага досліджених проб води з водойм І категорії, які не відповідали санітарним нормам у 2014 році за санітарно-хімічними показниками, становила 8,5 %, за санітарно-бактеріологічними показниками – 13,3 %. З водойм ІІ категорії було відібрано та досліджено 11465 проб за санітарно-хімічними та 16010 проб за мікробіологічними показниками. Питома вага досліджених проб води, які не відповідали санітарним нормам за санітарно-хімічними показниками – 16 %, за мікробіологічними – 12,9 % [3].

При цьому особливістю питного водопостачання в Україні є те, що воно на 70 % ґрунтується на використанні поверхневих вод і лише на 30 % — підземних вод, тоді як у країнах Європи цей показник досягає 90 %. Дуже низьким залишається рівень забезпеченості сільського населення гарантованим

водопостачанням. Тільки 23 % сільських населених пунктів мають централізовані системи водопостачання [4].

Технологія водопідготовки з поверхневих джерел на централізованих станціях питного водопостачання є типовою практично для всіх регіонів України і становить так звану традиційну або класичну технологію, яка була розрахована на якість води в джерелі водопостачання I класу. Вона містить попереднє хлорування води, введення в воду реагентів (солей алюмінію) і флокулянтів з подальшим їх гідролізом і осадженням (так званий процес коагуляційної обробки води), фільтрування води і завершальне знезараження хлором. Така технологія підготовки питної води в сучасних умовах не задовольняє вимогам як світових, так і вітчизняних нормативних документів [4,5].

Протягом 2014 року лабораторіями санепідстанцій із джерел централізованого водопостачання було досліджено за санітарно-хімічними показниками 108051 проб питної води, за бактеріологічними – 141006 проб. Питома вага нестандартних проб питної води, відібраних з джерел централізованого водопостачання, за санітарно-хімічними та бактеріологічними показниками за останні роки становить 13,5 % та близько 3,4 % відповідно [1-3].

Однією з найгостріших проблем у сучасній технології водопідготовки є утворення побічних хлорорганічних продуктів при хлоруванні води, яка містить розчинені органічні речовини. Особливо гостро ця проблема постає для вод басейна Дніпра, для якого характерний підвищений вміст розчиненого органічного вуглецю (в деякі пори року до 30-40 мг/дм³), що відповідає III-IV класу якості води [4].

Таким чином, хлорування Дніпровської води супроводжується утворенням цілої низки ряду токсичних хлорорганічних сполук. Після технологічної обробки води на станціях централізованого питного водопостачання за класичною технологією, яку застосовують нині в Україні, у воді залишається близько 20 - 30 % розчинених органічних сполук. Наявність їх у воді після фільтрування і хлорування не гарантує відсутності можливості вторинного забруднення води в розподільчих мережах при транспортуванні води. Втрата якості води в

розподільчих мережах пов'язана з наявністю в ній залишкових кількостей розчинених органічних речовин, які зумовлюють ріст бактерій і утворення на поверхні труб біоплівки. Введення хлору навіть у кількості $<3 \text{ мг/дм}^3$ має обмежену дію на вже сформовану біоплівку і не виключає можливості її утворення на чистій поверхні. Потрапляння в воду фекальних бактерій призводить до їх фіксації і розвитку на вже утвореній біоплівці. При великих об'ємах води, яку виробляють на централізованих станціях очищення води, процес дезінфекції часто не може повністю виключити присутність у воді патогенів [4].

Внаслідок недостатнього фінансування будівництво та реконструкція більшості об'єктів водопостачання та каналізування, запланованих державними та місцевими програмами розвитку водного господарства, охорони водних ресурсів та підвищення якості питної води, практично не проводиться. З комунальних водопроводів не відповідають санітарним нормам – 7,5 %, сільських – 3,4 %, відомчих – 1,8 % [1].

Таким чином, високий рівень техногенного навантаження на водойми та використання застарілих технологій підготовки питної води, які розраховані на доведення природної води до якості питної лише у випадку, коли вихідна вода відповідає I класу поверхневих джерел водопостачання, не дозволяють забезпечити населення якісною та безпечною для здоров'я людини питною водою. Застосування в технології підготовки питної води хлору, неефективних коагулянтів, відсутність сорбційних фільтрів з активованим вугіллям тощо призводить до надходження у питну воду значної кількості неорганічних та органічних забруднювачів, спільна дія яких на організм людини викликає реальну загрозу здоров'ю нації. Крім того, питна вода з поверхневих водойм потенційно небезпечна у вірусному відношенні, оскільки технологія її підготовки не гарантує видалення вірусів [1-5].

Над рішенням даної проблеми працюють міжнародні спеціалісти з водопідготовки та водного менеджменту. І один з актуальних трендів для покращення ситуації, який вони виділяють, полягає у використанні

децентралізованих систем очищення води як для доочищення водопровідної води, так і у якості альтернативи централізованим мережам [2, 5].

1.2 Децентралізовані системи очищення води

Для одержання високоякісної питної води з поверхневих вод з високим рівнем забрудненості необхідні корінні модернізація і реконструкція систем централізованого водопостачання. В Україні, наприклад, у Києві, корінна перебудова технології централізованого водопостачання навряд чи може бути реалізована за наявних економічних умов. Водопровідні і каналізаційні мережі Києва дуже зношені і перебувають у вкрай незадовільному стані. Перевірки показали, що зношеність основних фондів Дніпровської і Деснянської водопровідних станцій досягає 60 % [1-5].

Таким чином, навіть дуже поверхневий аналіз наявного становища в галузі централізованого водопостачання в Україні говорить про те, що необхідно розвивати нові підходи до постачання населенню якісної питної води з урахуванням економічної ситуації в країні. Основні положення такого підходу полягають у тому, що для питного водопостачання треба виробляти воду високої якості в місці споживання в обсягах, достатніх для задоволення питних потреб (3-5 дм³/добу для однієї людини) без подачі її в розподільчу мережу, де якість води погіршується [2,5].

Останнім часом все частіше обговорюється можливість децентралізованої підготовки води в місцях її безпосереднього вживання, тобто локальної водопідготовки, як безальтернативного на сьогоднішній день варіанту компенсування недосконалості традиційних технологій підготовки питної води та усунення вторинного її забруднення у водорозподільних мережах [5,9].

Локальні системи використовують як для доочищення води (побутові фільтри), так і для підготовки води [5,8,9].

1.3 Побутові фільтри для очищення води

Побутові малогабаритні пристрої для очищення води, які називають фільтрами, мають поєднувати в собі простоту і функціональність, вирішувати ті ж задачі, що габаритні системи водопідготовки, з урахуванням всіх факторів застосування – якості вихідної води, режиму її використання та ін. При цьому умови використання побутових фільтрів можна назвати важкими через високу температуру і непостійне використання, що сприяє розмноженню мікроорганізмів. В цих умовах дані пристрої повинні забезпечувати високу якість води [8-10].

Виділяють дві групи побутових фільтрів[11]:

- найпростіші, що виконують одну функцію;
- комплексні, які забезпечують очищення від декількох компонентів.

У воді, що проходить очищення на централізованому водозаборі великих міст, основними забруднювачами є залізо від зношених трубопроводів, надлишкова концентрація органічних речовин і активного хлору. Для сільських умов забруднення визначаються місцем відбору води. Відповідно, має відрізнятись технологія підготовки води, склад фільтруючих матеріалів у фільтрах та ступені водопідготовки [3,8].

Очищення води в побутових фільтрах відбувається при її проходженні через картриджі – змінні елементи, які встановлюються у фільтри [8,11].

Більшість побутових пристроїв очищення води, представлених на вітчизняному ринку, можна розглядати за наступними групами [11,12]:

- фільтри з одним картриджем, що виконують одну або комплекс функцій;
- багатоступеневі фільтри, в яких воду пропускають послідовно через декілька картриджів, кожен з яких виконує окрему функцію;
- універсальні пристрої глибокого очищення води з використанням мембран.

Картриджі заповнюються сорбентами, тобто матеріалами, що здатні селективно вилучати з води різноманітні домішки за рахунок хімічної взаємодії

або фізичного поглинання. Для заповнення картриджів побутових фільтрів, як правило, використовують наступні сорбенти [8]:

- Активоване вугілля різноманітного походження – для видалення з води хлору, хлорорганічних сполук, кольоровості, обумовленої присутністю природних органічних сполук, запаху. Крім того, активоване вугілля сприяє покращенню смакових якостей води.
- Катіонообмінні смоли (катіоніти) – для часткового або повного пом'якшення води, видалення деяких сполук заліза, марганцю, амонію, іонів тяжких металів та радіонуклідів. Найчастіше в побутових фільтрах використовується слабкокислотні катіоніти, що дозволяють видаляти тільки іони тимчасової жорсткості і, таким чином, запобігають утворенню накипу. Використання цих матеріалів також дозволяє частково зменшити солевміст води.
- Аніонообмінні смоли (аніоніти) – для видалення природних органічних сполук, деяких сполук заліза та марганцю, алюмінію, нітратів, фтору, сполук кремнію, свинцю та інших аніонів.
- Неорганічні сорбенти – для видалення радіонуклідів, тяжких металів, амонію та інших домішок.

Зазвичай для очищення води в побутових фільтрах використовують сорбенти у вигляді гранульованих, а також порошкоподібних і волокнистих матеріалів [12].

Для комплексного очищення води від широкого спектру домішок застосовують суміші або пошарові загрузки, що складаються з декількох сорбентів. Різнманітні сорбенти можуть бути завантажені в один картридж, або різні, через які вода проходить послідовно. Як правило, чим більше різноманітних сорбентів беруть участь у процесі очищення води, тим вище їх ефективність.

Одним з найефективніших рішень проблем очищення води для побутових цілей, продуктом «високих технологій» являються побутові мембранні установки, що затримують різні домішки і пропускають молекули води [11,12].

1.4 Побутові мембранні системи очищення води

1.4.1 Мембранні методи очищення води

Основним бар'єром для домішок при очищенні води на мембранних фільтрах є мембранний елемент – дрібнопористий матеріал з каналами різного розміру та вигляду. Всі процеси мембранного розділення характеризуються наявністю спеціального селективно проникного бар'єру між двома фазами, яким являється мембрана [6-8].

В найпростішому уявленні мембрана – це перегородка з порами більш чи менш близьких розмірів. В результаті проходження води, відбувається затримання часточок, розмір яких більший, ніж розмір пор, в той час як фільтрат (пермеат), що містить часточки меншого розміру, включаючи молекули розчинника, проходить через пори [11, 14-16].

Рухомою силою процесу розділення може бути тиск води – баромембранні процеси, різниця температур – мембранна дистиляція, напруга електричного поля – електромембранні процеси і т. п.

Баромембранні процеси включають [12-13]:

- макрофільтрацію;
- мікрофільтрацію;
- ультрафільтрацію;
- нанофільтрацію;
- зворотний осмос.

Порівняння різних мембранних процесів наведено на діаграмі спектра фільтрування (рисунок 1.1) [7].

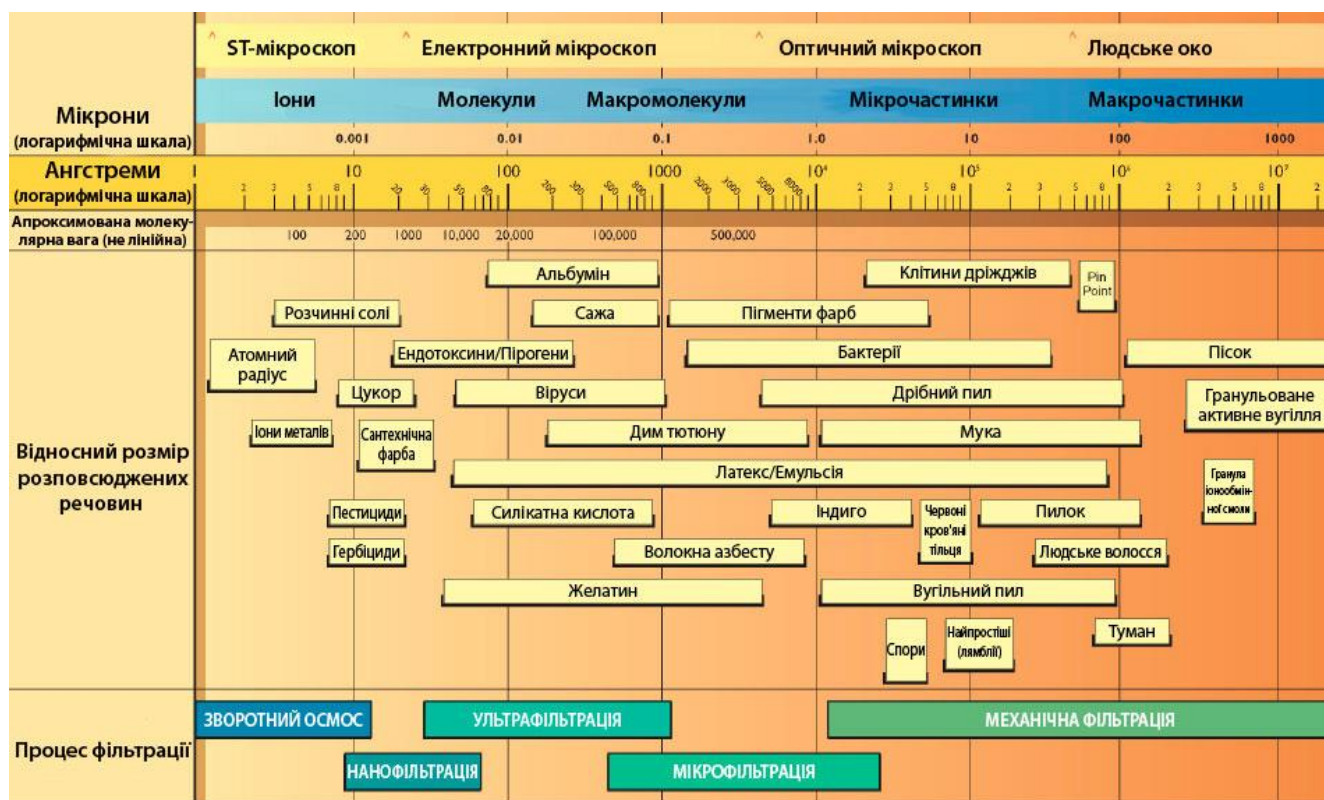


Рисунок 1.1 – Діаграма спектра фільтрування

Зворотний осмос являється абсолютним бар'єром по відношенню до всіх домішок води, тому серед усіх процесів мембранного розділення використовується найчастіше.

Схема зворотноосмотичного розділення наведена на рисунку 1.2 [7, 11].



Рисунок 1.2 – Принципова схема розділення методом зворотного осмосу

В основному всі фільтри на основі зворотного осмосу складаються з п'яти ступенів фільтрування, що забезпечує 99% видалення всіх домішок з води, включаючи мікробіологічні. Головною перевагою систем зворотного осмосу є повна безпека очищеної води. На виході з фільтру споживач отримує воду стабільної якості не залежно від складу вихідної води [13-16].

В побутових системах зворотного осмосу попередньо очищена вода (на механічних поліпропіленових картриджах, гранульованому вугіллі та пресованому вугіллі у вигляді карбон-блоку) подається на рулонний елемент зворотного осмосу. При цьому частина води проходить крізь мембрану, очищується та збирається в накопичуваному баку, а інша частина води, що поступає на мембрану, скидається в каналізацію [11,12].

1.4.2 Переваги та недоліки зворотного осмосу

Зворотний осмос – один з найбільш перспективних методів обробки води [8, 11, 13, 20].

Серед переваг методу зворотного осмосу найчастіше виділяють наступні [11-16]:

- абсолютна безпека отриманої води;
- можливість очищення води будь-якої якості до рівня питної;
- мала витрата реагентів;
- низькі експлуатаційні витрати;
- можливість скиду концентрату в каналізацію (навколишнє середовище) без обробки;
- екологічна безпека.

До недоліків методу зворотного осмосу належать [11, 13-15]:

- необхідність ретельної попередньої підготовки води;
- великий об'єм концентрату, що скидається, і як наслідок – значні витрати вихідної води;
- неможливість суттєвого впливу на мінеральний склад води.

Метод зворотного осмосу називають “екологічно чистим” методом очищення води, оскільки він дозволяє видалити з води розчинені солі без застосування хімічних реагентів [13].

Системою зворотного осмосу повністю затримуються мікроорганізми та видаляються всі розчинені домішки. Сучасні мембрани володіють селективністю до 99,9%. Побутові елементи, що використовуються для підготовки питної води, розраховані для роботи при невисокому тиску, забезпечують зниження солемісту до рівня 5-7 мг/л [15, 20].

Отже вода після системи зворотного осмосу практично не містить мінеральних домішок, тобто являється демінералізованою – фізіологічно «неповноцінною» водою [17, 20].

Лавиноподібне зростання попиту на побутові системи зворотного осмосу дозволяє зробити висновок, що в майбутньому ми все частіше будемо мати справу з мембранами в побуті. Це стало можливим завдяки науковим і технологічним досягненням: мембранні апарати стали доступніші, зросла їх питома продуктивність і при цьому вдалося знизити робочий тиск [11-17].

Установки зворотного осмосу поступово витісняють традиційні методи знесолення води – іонний обмін та дистиляцію. А за рахунок високої ефективності в затриманні органічних речовин, бактерій, вірусів, солей жорсткості, заліза метод зворотного осмосу здобуває все більше прихильників у використанні його для очищення питної води [11, 20].

1.4.3 Фізіологічна повноцінність води

Вода – найбільш вживаний “продукт харчування” в раціоні людини. Тому велике значення для здорового функціонування людського організму має якість води, яка поступає в нього. Вона, перш за все, має бути чистою. Якість води визначається також наявністю в ній хімічних сполук. До найбільш поширених сполук-забруднювачів відносять залізо, сульфіді, фториди, солі кальцію та магнію, органічні сполуки та ін. Токсичність даних компонентів незначна, але при довготривалому вживанні води, яка містить згадані речовини в концентраціях, що перевищують нормативні, виникає хронічна інтоксикація організму [7, 12].

Пошуки універсального рішення, яке б гарантувало безпеку питної води протягом всього часу експлуатації, приводять до використання систем зворотного осмосу, котрі повністю затримують мікроорганізми і забезпечують глибоке видалення всіх розчинених домішок, тобто отримана вода являється демінералізованою [19-21].

Думки спеціалістів стосовно повноцінності демінералізованої води різняться. Дослідження умов життя людей-довгожителів показали, що всі вони мали доступ і тривалий час вживали чисту, м'яку та слабкомінералізовану воду. По даним Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) в рейтингу країн за середньою тривалістю життя перші місця посідають країни, де в достатній кількості є природна чиста, слабкомінералізована вода та ті, в яких державою встановлені жорсткі стандарти на питну воду, які досягаються за рахунок використання сучасних високоефективних технологій та обладнання для очищення води [7].

Основною функцією питної води є забезпечення організму вологою (гідратація), проте завдяки присутності в ній мінералів вода також може бути джерелом деяких необхідних людському організму хімічних елементів: Ca, Mg, HCO_3 , SO_4 , Si, I, F, Na та ін. Кожен з цих елементів впливає на певні функції людського організму. При цьому негативним є як надлишок концентрацій хімічних елементів в воді, так і їх недостача. Наприклад відсутність солей

жорсткості в питній воді може сповільнювати розвиток кісткової тканини і спричинювати серцево-судинні захворювання. З іншого боку, вживання жорсткої води призводить до накопичування солей кальцію в організмі з подальшим розвитком артритів та сечокам'яної хвороби, а також виникають проблеми з харчовою системою [19-23].

В той же час не слід забувати, що вода являється не тільки одним з важливих ресурсів мінералів, але і потенційним джерелом надходження різних токсинів в організм людини. Вода, очищена зворотним осмосом, не містить шкідливих домішок, в тому числі бактерій та вірусів, але це демінералізована вода [20].

При повноцінному харчуванні основний дефіцит мінеральних макро- та мікрокомпонентів, необхідних організму людини, покривається за рахунок продуктів харчування. Відомо, що з питною водою людина отримує від 8 до 25% добової норми мінеральних речовин. Більша частина цих елементів надходить з їжею, а не з водою, хоча засвоюються ці елементи краще з водою [20, 21].

Існує всього п'ять елементів, для яких відсоток надходження з водою перевищує 30% – це Кальцій, Магній, Алюміній, Хром та Хлор. Решта поступають з водою в кількості всього 1-15% від необхідної [20, 23].

Питання оптимального мінерального складу води завжди було дискусійним. Під поняттям фізіологічної повноцінності води розуміють певний набір в ній катіонів і аніонів, необхідних організму людини [19, 21].

Згідно ДСанПіН 2.2.4-171-10 вода питна з оптимальним вмістом мінеральних речовин – це питна вода, призначена для споживання людиною, з мінеральним складом, адекватним фізіологічній потребі організму людини [11].

Санітарними органами України були встановлені показники фізіологічної повноцінності мінерального складу води, нормативи яких можна знайти в документі Державні санітарні норми та правила "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПіН 2.2.4-171-10).

В цьому ж документі – ДСанПіН 2.2.4-171-10 також окремо встановлено норми для мінерального складу води знесолоної. Так, якщо рівень сухого залишку

в питній воді після її штучного знесолення становить менше 100 мг/л, вона підлягає домінералізації. Домінералізація питної води – технологічний процес її обробки для збільшення концентрації мінеральних речовин, зокрема макро- та мікроелементів (штучна мінералізація або розведення). Інші показники такої води повинні відповідати вимогам фізіологічної повноцінності мінерального складу води, а саме [19, 20, 22]:

- загальна жорсткість 1,5-7 мг-екв/дм³;
- загальна лужність 0,5-6,5 мг-екв/дм³;
- кальцій 25-75 мг/дм³;
- магній 10-50 мг/дм³;
- рН 6,5-8,5 одиниць.

Провівши аналіз сучасного стану водопостачання в Україні та розглянувши альтернативні варіанти децентралізованих систем підготовки води, можна зробити висновок – оптимальним вирішенням проблеми якості питної води являється застосування води, очищеної методом зворотного осмосу, а потім донасиченої корисними мінералами для досягнення фізіологічної повноцінності.

1.5 Методи домінералізації води після системи зворотного осмосу

Питна вода, отримана методом зворотного осмосу, являє собою пермеат, що містить мінерали в кількості 5-7 мг/дм³. Пермеат характеризується низьким вмістом розчинених речовин та зниженим значенням показника рН – 5,3-6,5 одиниць [11-20].

Для дотримання стандартів якості питної води проводиться домінералізація очищеної води, за рахунок чого вона стає фізіологічно повноцінною, а також покращуються її смакові властивості [19-21].

Домінералізацію зворотноосмотичної води проводять двома методами, які відрізняються способом введення мінеральних сполук. В одному з методів необхідні солі дозуються у воду у вигляді розчину, а в іншому – вода пропускається через гранули мінералів з обмеженою розчинністю [24-26].

В останньому випадку для домінералізації використовують гранули таких мінералів, як кальцит, доломіт або інші, що дозволяють досягати необхідного складу води по загальному солевмісту, показнику рН, загальній жорсткості і лужності [20,24,26].

З метою корекції мінерального складу пермеату в побутових системах зворотного осмосу малої продуктивності використовують мінералізаційні картриджі, заповнені гранульованими мінералами. При контакті пермеату з мінералами спостерігається їх часткове розчинення, за рахунок чого відбувається корекція як загального солевмісту, так і значення рН води [19,23-26].

Проте відомо, що при використанні подібних мінералізаційних картриджів в існуючих системах досягається недостатня зміна загального солевмісту та рН пермеату [19, 24].

2 ПОСТАНОВКА МЕТИ ТА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою даної роботи є дослідження процесу та розробка технології домінералізації води після побутової системи зворотного осмосу до рівня вимог по фізіологічній повноцінності для штучно знесоленої води.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Дослідити процес знесолення води на побутових системах зворотного осмосу з використанням різних мембранних елементів.
2. Дослідити процес розчинення ряду мінералів пермеатом побутової системи зворотного осмосу (ПСЗО) та обрати оптимальні мінерали для його домінералізації.
3. Вивчити кінетичні характеристики процесу домінералізації пермеату ПСЗО обраними мінералами та визначити оптимальні умови його проходження.
4. Розробити технологію домінералізації пермеату ПСЗО з використанням обраного мінералу.
5. Провести тестові випробування процесу домінералізації пермеату ПСЗО на пілотній установці в динамічному режимі.

Об'єктами даного дослідження є побутова система зворотного осмосу малої продуктивності, мембранні елементи зворотного осмосу, мінеральні наповнювачі для корекції мінерального складу води.

Предметом дослідження є процеси розчинення мінералів пермеатом зворотного осмосу.

Методи дослідження включають хімічні, фізичні, фізико-хімічні та інструментальні.

3 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Побутова система зворотного осмосу малої продуктивності

Типовий побутовий фільтр зворотного осмосу представляє собою систему комплексного очищення води, призначену для широкого використання. Система фільтрації здійснює поетапне 5- або 6-ступінчасте доочищення водопровідної, артезіанської або криничної води. Процес очищення здійснюється за допомогою трьох картриджів попередньої фільтрації, зворотноосмотичної мембрани і вугільного постфільтру, також система може комплектуватись картриджем-мініралізатором.

Основними компонентами побутової системи є фільтраційний блок, накопичувальний бак і кран подачі чистої води, а також комплект приєднувальних трубок. Фільтр ЗО розрахований на роботу при тиску в трубопроводі від 3 до 6 атм. При більш низькому значенні тиску необхідна установка насоса для підвищення тиску, а при більш високому – понижуючого редуктора. Схема типової системи ЗО і її підключення до джерела водопостачання представлена на рисунку 3.1 [27].

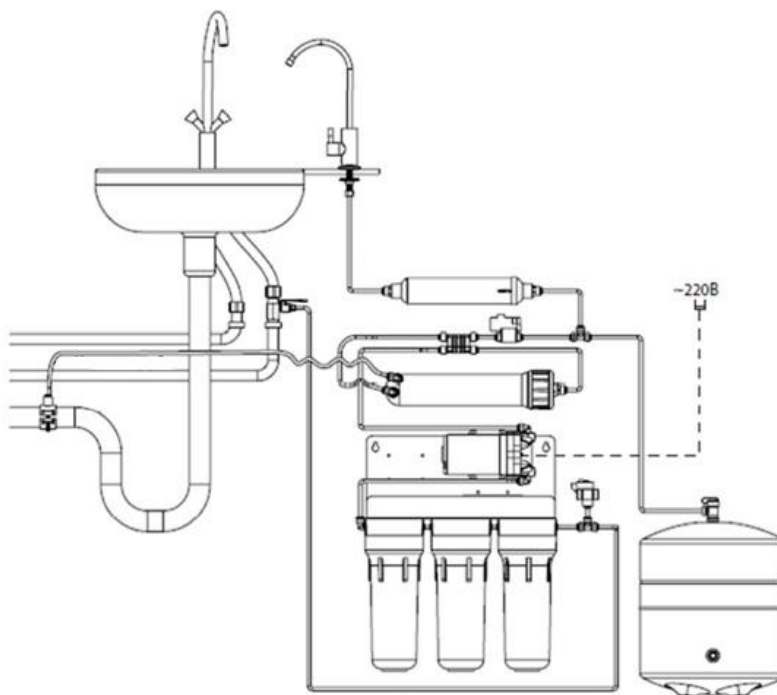


Рисунок 3.1 – Схема підключення побутового зворотного осмосу

Ефективність роботи і тривалість служби будь-якої системи зворотного осмосу безпосередньо залежить від якості вхідної води, тому до її складу висувають певні вимоги, наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вимоги до води, яка подається на систему ЗО [13]

Найменування показника	Значення
pH	6,5-8,5
ЗСВ, мг/дм ³	<1500
Загальна твердість, мг-екв/дм ³	<10,0
Вільний хлор, мг/дм ³	<0,5
Залізо загальне, мг/дм ³	<0,3
Марганець, мг/дм ³	<0,1
Перманганатна окислюваність, мгО ₂ /дм ³	<5
Загальне мікробне число (ЗМЧ), КУО/см ³	<50
Coli-індекс	<3

Побутові системи ЗО завжди оснащені кількома ступенями попереднього очищення води перед безпосередньою подачею на мембрану. Багатоступенева фільтрація включає в себе послідовне проходження наступних очисних модулів:

1. Картридж попереднього механічного очищення з поліпропілену. На даному етапі з води видаляються великі забруднення розміром більше 5 мкм – мул, пісок, іржа і інші небажані включення.

2. Картридж з гранульованого вугілля. На другому етапі попереднього очищення з води видаляється хлор і хлорорганічні сполуки.

3. Картридж третього ступеня попередньої фільтрації з пористого поліпропілену затримує домішки і частинки фільтруючих матеріалів попередніх ступенів очищення розміром більше 1 мкм.

4. Зворотноосмотичний мембранний елемент середньою продуктивністю до 280 дм³/добу. Мембрана забезпечує високоефективне очищення води від розчинених домішок, видаляючи також і мікробіологічні забруднення.

5. Картридж для постфільтрації (посткарбон), забезпечує поліпшення смакових якостей очищеної води і усунення стороннього запаху. Як наповнювач картриджа використовується активоване вугілля.

Система побутового зворотного осмосу має робочі характеристики і параметри, вказані в таблиці 3.2 [27]:

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики системи ЗО

Найменування параметру	Значення
Тиск на вході для системи без помпи, атм	3 - 6
Тиск на вході для системи з помпою, атм	2 - 4,5
Тиск у мембранному баці, атм	0,4 - 0,6
Робоча продуктивність, дм ³ /год	5-8
Максимальна продуктивність, дм ³ /год	11,6
Температура вхідної води, °С	+4 ... +30
Допустима температура навколишнього середовища, °С	+5 ... +40

З метою корекції мінерального складу пермеата в ПСЗО малої продуктивності використовують мінералізаційні картриджі, заповнені кальцитом або іншими гранульованими мінералами. Картридж-мінералізатор представляє собою пластиковий корпус, заповнений фільтруючим матеріалом (рисунок 3.2). В даній схемі картридж має наступні розміри ефективного об'єму завантаження: довжина – 25 см, діаметр – 5 см.

В стандартній схемі підключення картридж встановлюється на лінії подачі очищеної води споживачу, де об'ємна витрата пермеата може досягати 100-160 дм³/год. При контакті пермеата з мінералами відбувається їхнє часткове розчинення, за рахунок чого відбувається корекція як загального солевмісту, так і значення рН води.



Рисунок 3.2 – Картридж-мініралізатор

3.2 Мембранні елементи зворотного осмосу

Процес очищення води в системах зворотного осмосу малої продуктивності ґрунтується на використанні зворотноосмотичних мембранних елементів рулонного типу. Будова МЕ показана на рисунку 3.3 [28].

Мембрана зворотного осмосу, що застосовується у таких елементах, представляє собою тонкоплівкову композитну мембрану з бар'єрним шаром на основі ароматичного поліаміду [7].



Рисунок 3.3 – Будова та напрями потоків рулонного мембранного елемента зворотного осмосу малої продуктивності

Об'єктами дослідження в даній роботі є зворотноосмотичні МЕ, які є основними вузлами систем зворотного осмосу малої продуктивності. Характеристики досліджуваних МЕ наведені в таблиці 3.3 [29-32].

Як видно з таблиці 3.3, досліджувані МЕ відрізняються наступними характеристиками:

- продуктивністю за пермеатом;
- селективністю;
- номінальним робочим тиском;
- виходом за пермеатом (гідравлічним КПД).

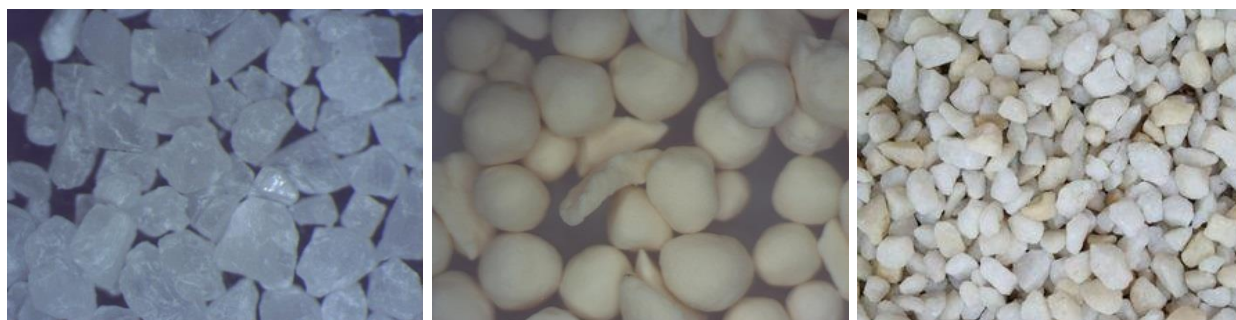
Таблиця 3.3 – Характеристики досліджуваних мембранних елементів

Параметр / Позначення елемента	M1	M2	M3	M4	M5
Країна виробництва	Тайвань	США	США	Китай	США
Тип мембрани	Тонкоплівковий поліамідний композит				
Робочий тиск, бар	4,1	3,4	3,4	4,1	4,8
Максимальний тиск, бар	10	10	10	10	10
Продуктивність за пермеатом, $\text{дм}^3/\text{год}$	15,8	15,8	12	7,9	79
Максимальна температура води, $^{\circ}\text{C}$	45				
Допустимий діапазон рН, од.	4–11	2–11	2–11	4–11	2–11
Селективність, %	96	98	99	96	98
Вихід за пермеатом, %	15	15	15	15	40
Умови тестування	вода із ЗСВ 250 мг/дм^3 , температура 25°C	пом'якшена вода із ЗСВ 250 мг/дм^3 , температура 25°C	пом'якшена вода із ЗСВ 250 мг/дм^3 , температура 25°C	розчин NaCl 250 мг/дм^3 , рН 7,0, температура 25°C	розчин NaCl 250 мг/дм^3 , температура 25°C

3.3 Мінерали

В роботі досліджувались 3 мінеральні наповнювачі для корекції мінерального складу води (рисунок 3.4):

- 1) фільтруючий матеріал Calcite на основі карбонату кальцію (виробник Clack Corporation, США)
- 2) фільтруючий матеріал Corosex на основі оксиду магнію (виробник Clack Corporation, США)
- 3) доломітова крихта (країна походження Туреччина).



а)

б)

в)

Рисунок 3.4 – Фотографії досліджуваних матеріалів: а) Calcite, б) Corosex, в) доломіт

Основні фізико-хімічні характеристики мінералів і фільтруючих матеріалів наведені в таблиці 3.4 [33-35].

Таблиця 3.4 – Основні фізико-хімічні характеристики досліджуваних матеріалів

Характеристика	Calcite	Corosex	Доломіт
Формула основного складу	CaCO_3	MgO	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$
Хімічний склад (згідно специфікації)	$\text{CaCO}_3 > 95\%$ $\text{MgCO}_3 < 3\%$	$\text{MgO} > 97\%$	$\text{CaO} - 30,4\%$, $\text{MgO} - 21,7\%$, $\text{CO}_2 - 47,9\%$
Колір	Білий	Коричнево-білий	Сірувато-білий
Гранулометричний склад, мм	0,4–1,19	1,19–3,33	0,5-2
Густина, г/см ³	1,44	1,2	2,85
Розчинність у воді (25 °C), г/100 см ³	0,0015	0,86	—

4 МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Методика тестування мембранних елементів

Мембранні елементи різних виробників і різної продуктивності тестувались в стандартному режимі роботи системи зворотного осмосу малої продуктивності, принцип очищення води на якій описано нижче.

Вхідна вода ірпінського водопроводу, склад якої наведений в таблиці 4.1, надходила на 3-стадійне попереднє очищення від механічних забруднень (розміром понад 5 мкм та 1 мкм) та активного хлору. Далі за допомогою діафрагмового насоса тиск підвищувався до необхідного значення згідно характеристик досліджуваного МЕ, і вода надходила на зворотноосмотичний мембранний елемент. На мембранному елементі ЗО вода розділяється на 2 потоки – потік очищеної води, що пройшла крізь мембрану (пермеат) та потік води із підвищеним вмістом солей (концентрат), який скидається в каналізацію. Вихід за пермеатом регулювався за допомогою каліброваних шайб обмеження потоку відповідних номіналів у відповідності зі значеннями, наведеними у специфікаціях на МЕ.

Таблиця 4.1 – Склад води, що подавалась на установку ЗО

Показник складу води	Значення протягом проведення експерименту
рН	7,4 - 7,7
Твердість загальна, мг-екв/дм ³	4,5 - 4,9
Лужність загальна, мг-екв/дм ³	4,4 - 4,7
Залізо загальне, мг/дм ³	0,1 - 0,2
Марганець, мг/дм ³	0,005 - 0,025
Перманганатна окиснюваність, мг О ₂ /дм ³	1,7 - 2,2
Загальний солевміст, мг/дм ³	250 - 320
Сульфати, мг/дм ³	10 - 40
Хлориди, мг/дм ³	10 - 15

Оскільки новому МЕ необхідний деякий час для виходу на робочий режим по ЗСВ — не менше 1 години, перші 2 години роботи системи пермеат зливався в каналізацію, тільки потім здійснювався відбір проб для аналізу.

Параметри, які контролювалися протягом проведення досліджень:

- витрата пермеату, концентрату;
- температура вхідної води;
- показники якості води: рН, ЗСВ, лужність, вміст кальцію, магнію та CO_2 вихідної води та пермеату.

Визначення концентрації кальцію здійснювалося відповідно до ДСТУ ISO 6058:2003, магнію – ДСТУ ISO 6058:2003, лужності – ДСТУ ISO 9963-1:2007.

Вміст CO_2 розраховувався відповідно до наведених нижче рівнянь — модифікованого рівняння Гендерсона – Гассельбаха (4.1):

$$C_{\text{CO}_2} = \left[10^{\lg(C_{\text{HCO}_3}) - (p\text{H} - pK_1)} \right] \cdot 1000 \cdot M_{\text{CO}_2}, \quad (4.1)$$

де C_{CO_2} – концентрація CO_2 , мг/дм³;

рН – водневий показник води;

M_{CO_2} – молярна маса CO_2 , г/моль;

pK_1 – кологарифм першої константи дисоціації H_2CO_3 , який визначається з рівняння (4.2):

$$pK_1 = 6,579 - 0,013 \cdot t + 1,869 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 1,133 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 + 5,953 \cdot 10^{-9} \cdot t^4, \quad (4.2)$$

де t – температура води, °С.

4.2 Методика дослідження процесу розчинення мінералів у статичних умовах

Вивчення особливостей процесу розчинення різних мінералів проводилося в статичних умовах. Досліджувалось розчинення мінералів кислотою і знесолею водою (пермеатом ЗО).

У першому випадку склянка об'ємом 250 см³ з магнітним якірцем встановлювалась на магнітну мішалку. Наважка кожного мінералу 1,0 г поміщалася в склянку і заливалася 100 см³ 5%-го розчину HCl для контакту. Процес тривав до повного розчинення мінералів при однакових температурах та режимі перемішування. Потім у розчині встановлювались концентрації кальцію і/або магнію відповідно до вказаних вище методик. Також розраховувався відсотковий склад по основним хімічним речовинам мінералу.

Для дослідження процесу розчинення у знесоленій воді наважка кожного мінералу 25 г поміщалася в суху колбу і заливалася 500 см³ пермеату ЗО на 48 годин.

У воді до та після контакту з мінералом встановлювались концентрації кальцію та/або магнію, а також лужність, ЗСВ та рН, за вказаними вище методиками.

4.3 Визначення кінетичних характеристик процесу розчинення мінералів в статичних умовах

Кінетичні дослідження процесу розчинення індивідуальних мінералів проводились при трьох температурах: 10 °С, 20 °С, 30 °С. При цьому 5,0 г мінералу приводились в контакт зі 100 см³ пермеату ЗО, а після відбору проб у встановлені проміжки часу визначались рН і ЗСВ.

Для розрахунків константи швидкості процесу розчинення використовувалась інтегральна форма рівняння Щукарєва (4.3) [26]:

$$k = \frac{1}{\tau} \ln \frac{C_{\max}}{C_{\max} - C}, \quad (4.3)$$

де k – константа швидкості процесу розчинення;

τ – момент часу, в який відібрана проба, хв;

$C_{\max}$ – рівноважна концентрація розчинюваної речовини, мг/дм³;

C – концентрація розчинюваної речовини в момент відбору проби, мг/дм³.

Рівняння (4.4), записане у вигляді

$$\ln \frac{C_{\max}}{C_{\max} - C} = k\tau, \quad (4.4)$$

відповідає прямолінійній залежності $\ln \frac{C_{\max}}{C_{\max} - C} = f(\tau)$, тангенс кута нахилу якої дорівнює середній константі швидкості досліджуваного процесу:

$$k_{\text{граф.}} = \operatorname{tg} \alpha. \quad (4.5)$$

Окрім цього, досліджувався процес домінералізації води послідовним контактом із мінералами. Для цього спочатку одержували зразок пермеату ЗО, домінералізованого одним мінералом, шляхом приведення у контакт 50,0 г мінералу з 1 дм³ пермеату ЗО на 5 хв при постійному перемішуванні за температури 20 ± 1 °С. Після цього 500 см³ обробленої води приводили у контакт із 25,0 г другого мінералу при постійному перемішуванні на 10 хв та через визначені проміжки часу вимірювали значення ЗСВ та рН у розчині.

4.4 Методика дослідження процесу домінералізації пермеату зворотного осмосу в динамічних умовах

Дослідження процесу домінералізації пермеату зворотного осмосу здійснювалось на типовій системі побутового зворотного осмосу з мінералізатором, що включає в себе 3-стадійну попередню очистку, зворотноосмотичне знесолення, домінералізацію. Стандартна схема установки ЗО зображена на рисунку 4.1.

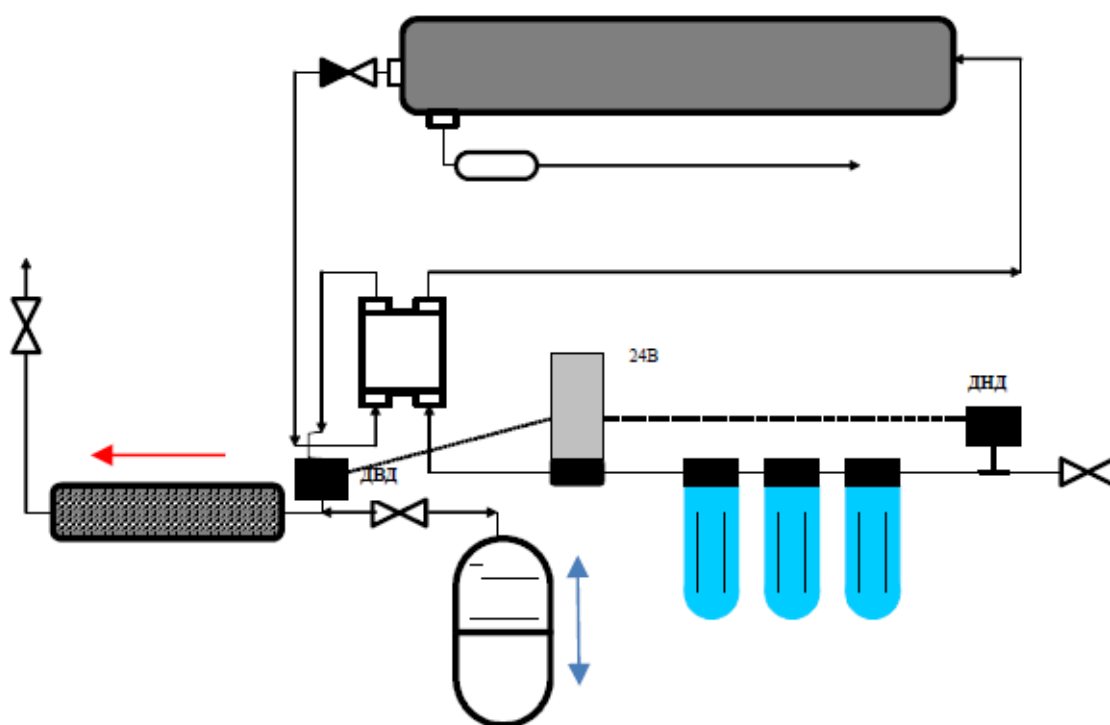


Рисунок 4.1 – Схема роботи ЗО з мінералізатором

Принцип роботи установки полягає в наступному. Вихідна водопровідна вода надходить до установки. На вході води в установку встановлено 3 картриджні префільтри для підготовки води перед подачею на мембрану. Далі підготовлена вода подається на мембранний елемент за допомогою насоса високого тиску, що забезпечує підвищення тиску води до необхідного для перебігу процесу – 3-6 атм. В установці встановлено мембранотримач із мембранним елементом.

Очищена вода подається в бак-накопичувач пермеату. В момент відкриття споживачем фасетки, потік пермеату зі швидкістю 100-160 дм³/год поступає на картридж-мінералізатор, де за рахунок розчинення завантажених мінералів збільшується ЗСВ пермеату. Подібна схема установок ЗО є типовою для побутових систем знесолення і досягає гідравлічного ККД на рівні 15%.

Параметри, які контролювалися протягом проведення досліджень:

- тиск води на вході до мембранного елемента та тиск концентрату на виході;
- витрата пермеату, концентрату;
- температура води;
- рН, ЗСВ, та загальна твердість вихідної води, пермеату та домінералізованої води.

5 РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

5.1 Порівняльні дослідження процесу зворотноосмотичного знесолення на різних мембранних елементах

Для вибору мембранного елементу для подальших досліджень процесу домінералізації було випробувано відповідно до методики 4.1 5 різних мембранних елементів, які відрізняються між собою продуктивністю за пермеатом, селективністю, номінальним робочим тиском, виходом за пермеатом (гідравлічним ККД) та іншими робочими характеристиками, описаними в розділі 3.2 (таблиця 3.3).

Характеристики зразків пермеату, що були отримані з різних мембран, наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Основні показники зразків пермеату, одержаних з різних мембранних елементів

Показник / № дослідження	1	2	3	4	5	6
Позначення МЕ	М1	М2	М3	М3	М4	М5
Вихід за пермеатом, %	15	15	15	50	15	40
ЗСВ, мг/дм ³	8	6	5	12	9	6
рН, одиниці	5,94	5,80	5,87	5,98	5,90	5,78
Са, мг-екв/дм ³	0,05	0,03	0,02	0,05	0,05	0,03
Мg, мг-екв/дм ³	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
Лужність, мг-екв/дм ³	0,20	0,15	0,18	0,30	0,20	0,14
СО ₂ , мг/дм ³	29,59	30,63	31,29	38,78	31,75	30,73

Наведені дані свідчать, що характеристики зразків пермеату, одержаних з різних мембранних елементів, мало відрізняються один від одного. Для подальших досліджень було обрано мембранний елемент М3 за умови його роботи в стандартному режимі (вихід за пермеатом 15%), оскільки його пермеат має найменший ЗСВ. З одного боку в такому випадку вплив мінерального складу пермеату на результати досліджень процесу розчинення мінералів буде мінімальний, а з іншого – пермеат з найменшим ЗСВ потребує найефективнішої домінералізації.

5.2 Порівняльні дослідження процесу розчинення мінералів

З урахуванням поставленої задачі, згідно якої необхідно привести воду до показників фізіологічної повноцінності, необхідно обрати мінерал, який буде розчинятись в тій мірі і з такою швидкістю, щоб забезпечити необхідні показники ЗСВ і рН.

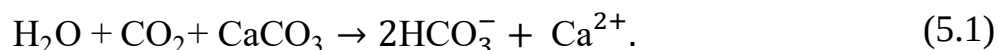
На першому етапі дослідження було встановлено елементний склад мінералів відповідно до методики, наведеної в розділі 4.2. Результати наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Хімічний склад мінералів

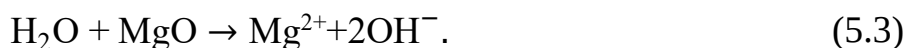
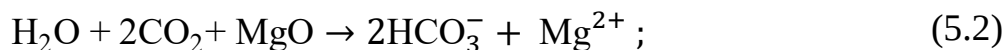
Елемент/речовина	Calcite	Corosex	Доломіт
Са, мг/г	390	10	251
Mg, мг/г	3	490	126
Хімічний склад, %	CaCO ₃ 97,5% MgCO ₃ 1,1%	MgO 98% CaO 1,4%	CaO 35,1% MgO 21,1% CO ₂ 43,8%

Реакції, які обумовлюють розчинення досліджуваних матеріалів у воді та корекцію мінерального складу води:

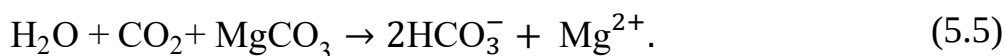
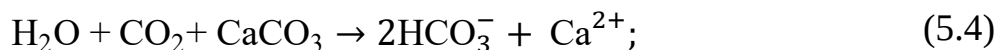
Calcite:



Corosex:



Доломіт:



Далі досліджувався процес розчинення мінералів пермеатом, як це і буде відбуватись в процесі домінералізації очищеної води. В статичних умовах відповідно до методики 4.2 було отримано наступні дані (таблиця 5.3).

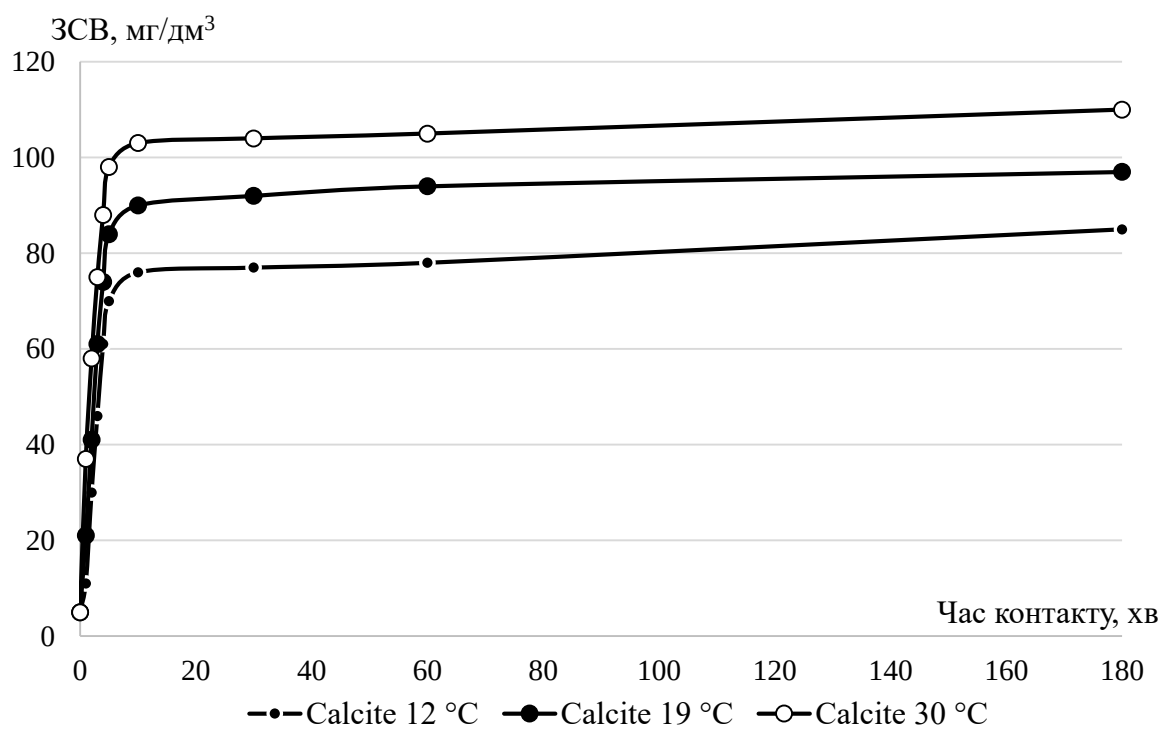
Таблиця 5.3 – Результати розчинення мінералів у знесоленій воді при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ та часі контакту 48 год.

Показник	Calcite	Corosex	Доломіт
pH	8,78	11,58	8,33
ЗСВ, мг/дм ³	104	154	62
Твердість загальна, мг-екв/дм ³	1,4	1,8	0,85
Ca, мг-екв/дм ³	1,35	0,1	0,75
Mg, мг-екв/дм ³	0,05	1,7	0,1
Лужність загальна, мг-екв/дм ³	1,45	1,9	1,1

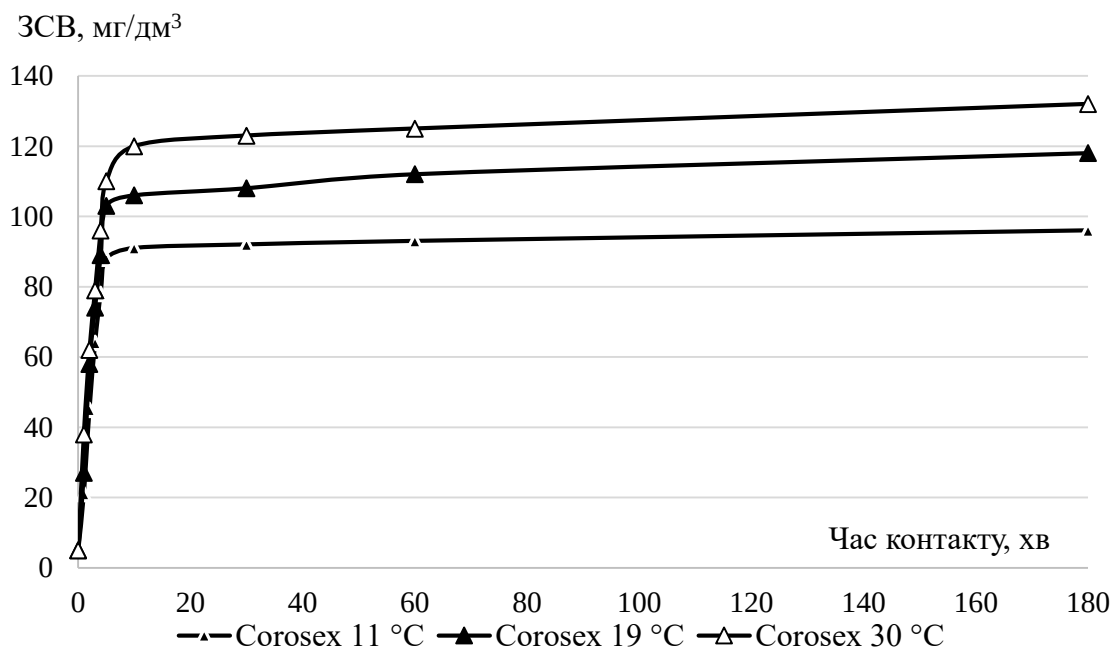
З результатів дослідження видно, що при значному часі контакту пермеата ПСЗО із Corosex та Calcite досягається як ефективна домінералізація пермеата, так і суттєве зростання pH понад допустимі межі (6,5–8,5). Особливо цей ефект виражений у випадку Corosex. Оскільки результати одержані для значень часу контакту, що суттєво перевищують наявні на практиці, обидва матеріали вирішено застосовувати для подальших досліджень. В той же час, результати досліджень показали, що доломіт навіть при тривалому часі розчинення не досягає необхідних значень ЗСВ, було прийнято рішення про припинення дослідження даного мінералу.

5.3 Визначення кінетичних характеристик процесу розчинення

Кінетичні дослідження процесу розчинення здійснювались відповідно до методики 4.3. Кінетичні криві розчинення мінералів були одержані при трьох температурах – 10, 20, 30 $^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Кінетичні криві зміни ЗСВ для мінералів Calcite і Corosex наведені на рисунках 5.1 та 5.2. Кінетичні криві зміни pH для мінералів Calcite і Corosex наведені на рисунку 5.3.

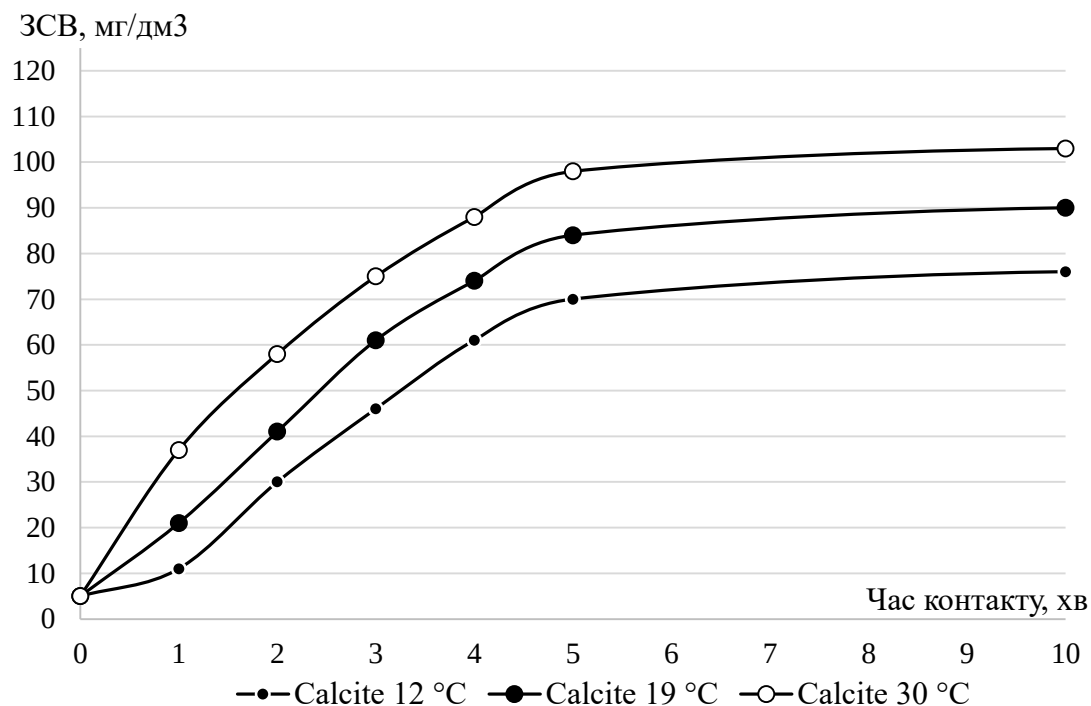


а

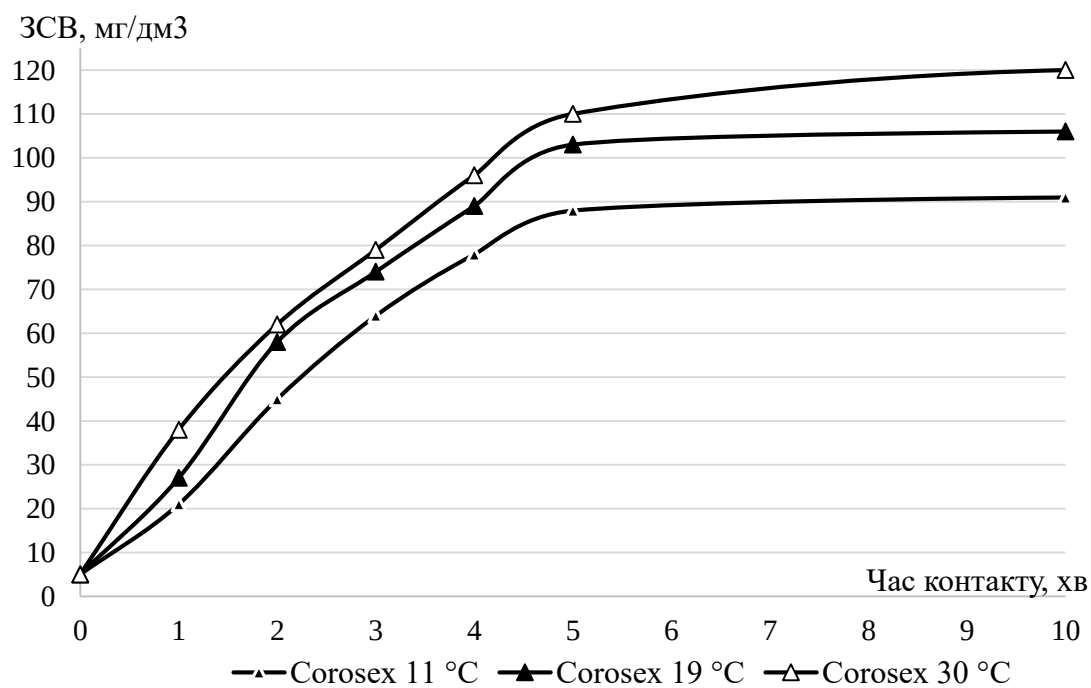


б

Рисунок 5.1 – Кінетичні криві залежності ЗСВ від часу в процесі домінералізації: а – Calcite; б – Corosex

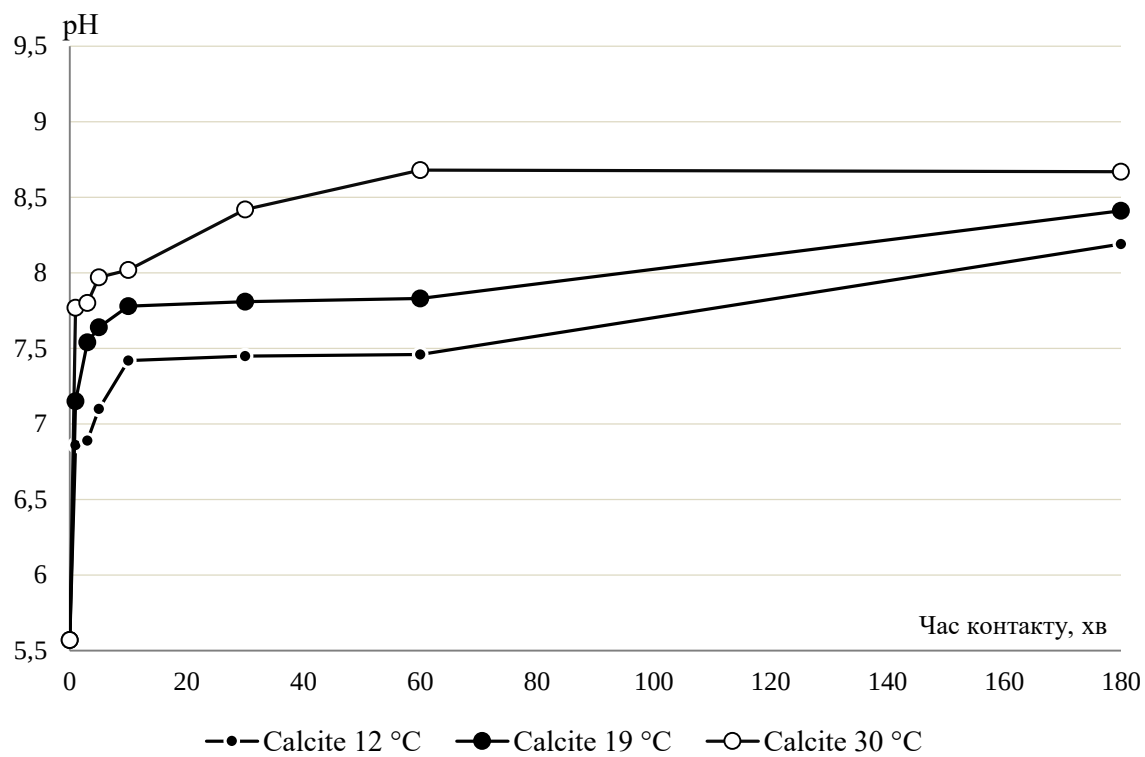


а

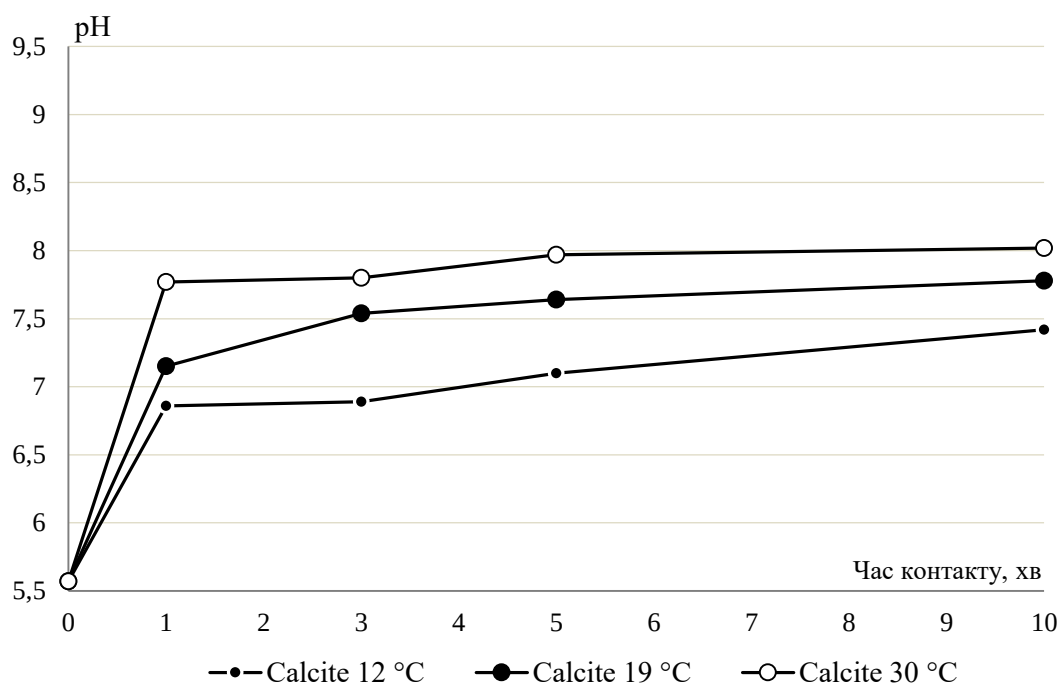


б

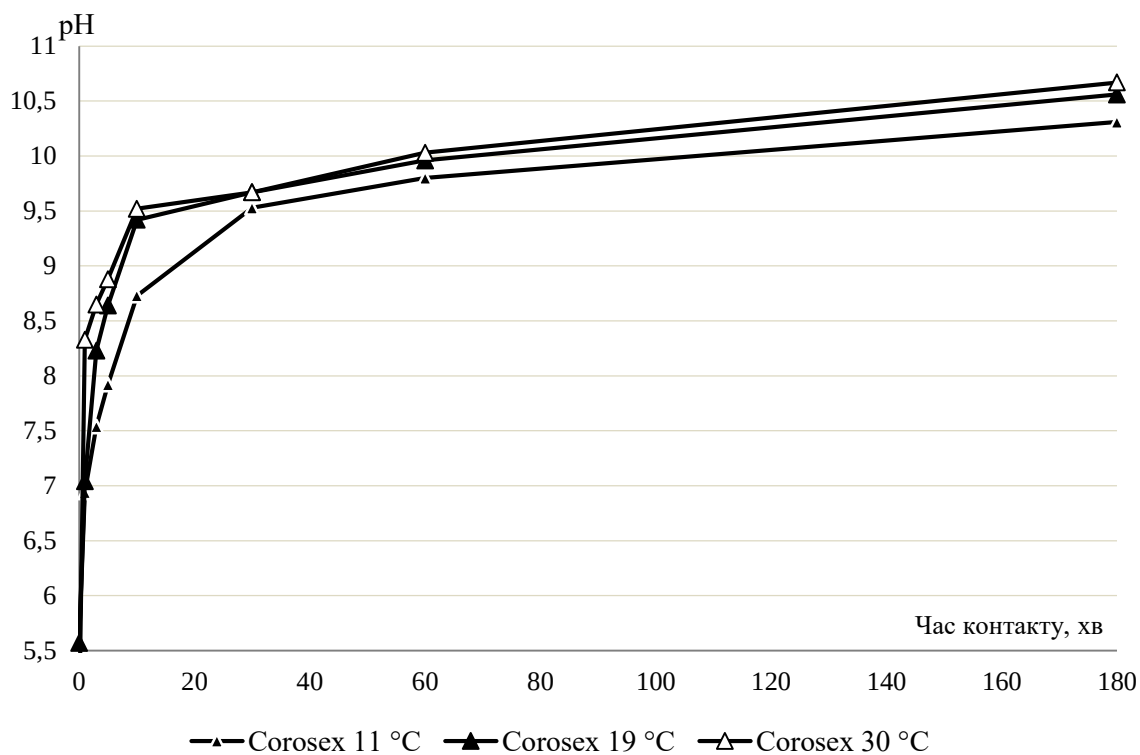
Рисунок 5.2 – Початкові ділянки (до 10 хв) кінетичних кривих залежності ЗСВ від часу в процесі домінералізації: а – Calcite; б – Corosex



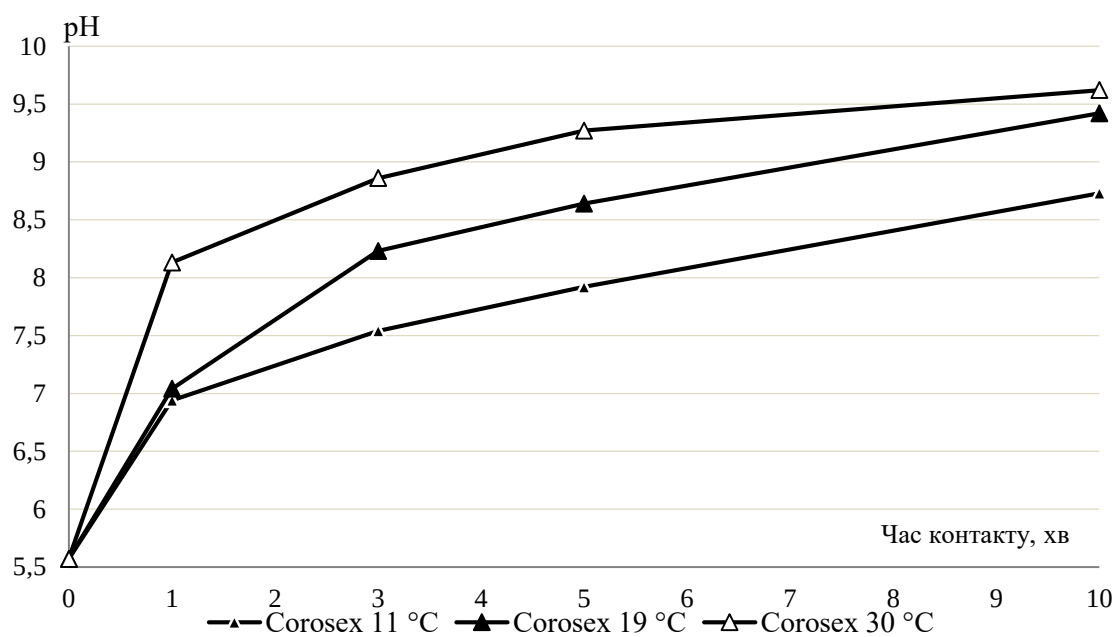
а



б



В



Г

Рисунок 5.3 – Кінетичні криві залежності рН від часу в процесі домінералізації: а – Calcite; б – Calcite (початкова ділянка до 10 хв); в – Corosex; г – Corosex (початкова ділянка до 10 хв)

З наведених початкових ділянок кінетичних кривих можна зробити висновок щодо характеру перебігу процесу: ЗСВ та рН швидко зростають при часі контакту до 5 хвилин, після 5 хвилин швидкість збільшення ЗСВ знижується, але рН продовжує зростати, що особливо виражено у випадку матеріалу Corosex. Таким чином, забезпечення більших значень часу контакту води з матеріалами не призведе до суттєвого збільшення показників домінералізації порівняно із початковою ділянкою 0–5 хвилин, до того зростатиме рН домінералізованої води. Крім того конструктивні особливості ПСЗО не дозволяють забезпечити контакт пермеату з мінералами довший ніж 10 хвилин. Це дозволяє приймати до уваги лише початкові ділянки кінетичних кривих до 10 хв.

Оскільки практичний інтерес становить вивчення впливу температури води на перебіг процесу домінералізації, а саме залежності значень ЗСВ та рН від температури, для кожного матеріалу було одержано по 3 кінетичні криві за різних температур в інтервалі 10-30 °C (рисунки 5.2 та 5.3). Інтервал зміни температури був обраний з урахуванням сезонних коливань температури водопровідної води м. Києва.

Аналіз ходу кривих на рисунку 5.2 показує, що з ростом температури збільшується величина розчинності обох мінералів, але не її швидкість. На рисунку 5.4 наведені криві залежності зміни ЗСВ та рН від температури при часі контакту – 5хв.

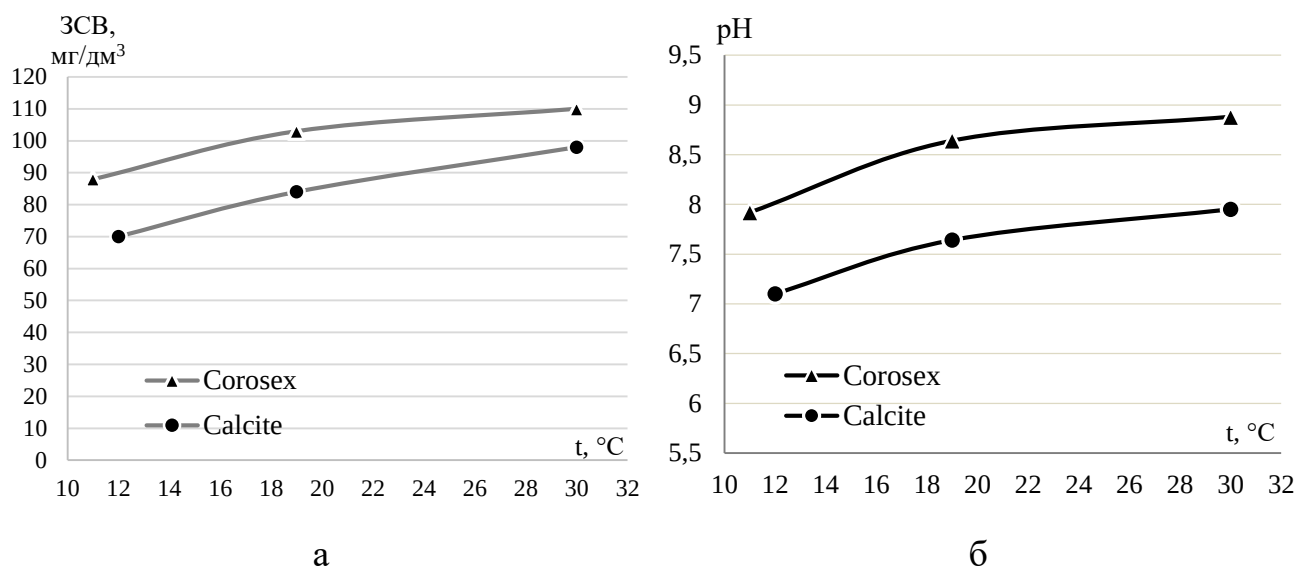


Рисунок 5.4 – Залежності значень ЗСВ (а) та рН (б) при часі контакту 5 хв від температури.

Аналіз ходу кривих показує, що розчинність мінералу Corosex перевищує розчинність Calcite на всьому інтервалі температур, але швидкість розчинення мінералів приблизно однакова. Слід відзначити, що при 5-хвилинному контакті Calcite з водою величина ЗСВ сягає норми лише за температури 30 °С, в той час як для Corosex це відбувається вже при 19 °С.

Інша картина спостерігається при вивченні процесу зміни рН води – рисунок 5.4. б. Так, при фіксованому часі 5 хв. у випадку Corosex величина рН змінилась з 8 майже до 9 при зростанні температури з 11 до 30 °С. В той же час величина рН системи, що включала Calcite залишилась в інтервалі 7-8 при аналогічному підвищенні температури. Це можна пояснити різним механізмом взаємодії мінералів з водою (реакції 5.1-5.3).

Аналіз кінетичних кривих залежності рН від часу при різних температурах показує, що величина рН води, що контактує з Calcite, лежить в інтервалі значень, що відповідають вимогам (6,5-8,5) протягом 10 хвилин контакту при всіх значеннях температури води, в той час як для Corosex – ця умова виконується тільки при 12 °С. Підвищення температури до 19 °С приводить до перевищення норми на 6-й хвилині контакту, а при 30 °С – на другій.

З усього зазначеного можна зробити висновок, що обидва мінерали можуть бути застосовані для домінералізації пермеату ЗО, але з певними обмеженнями, які пов'язані з особливостями механізму та кінетики їхнього розчинення у воді.

5.4 Математичний опис процесу розчинення мінералів у воді

З метою подальшого вивчення впливу температури на перебіг процесу домінералізації було визначено кінетичні параметри цього процесу, а саме константи швидкості k за різних температур.

Процеси розчинення мінералів описуються рівнянням Щукарєва (4.3), лінійні залежності відповідно до якого наведено на рисунках (5.5) і (5.6):

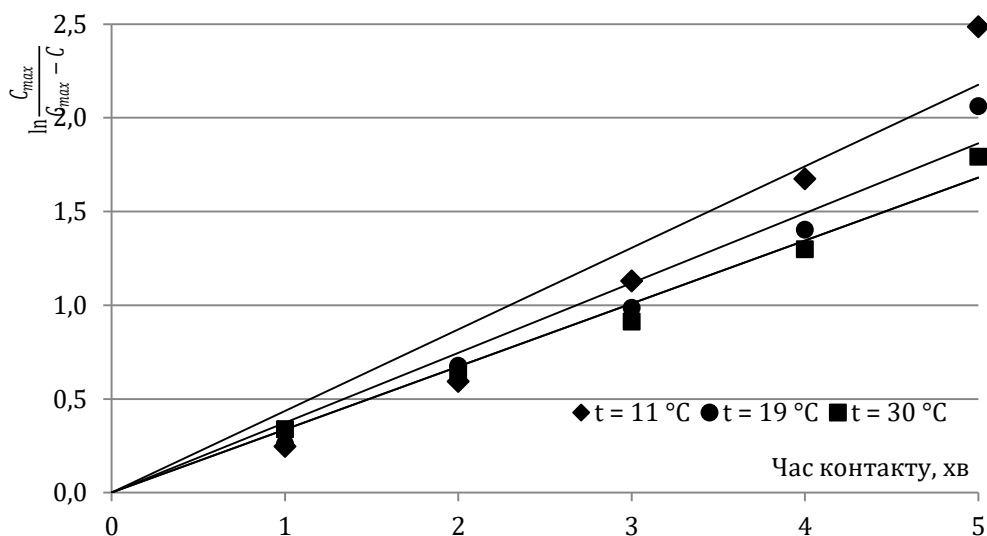


Рисунок 5.5 – Графіки залежності $\ln \frac{C_{\max}}{C_{\max} - C} = f(\tau)$ для матеріалу Corosex за різних температур

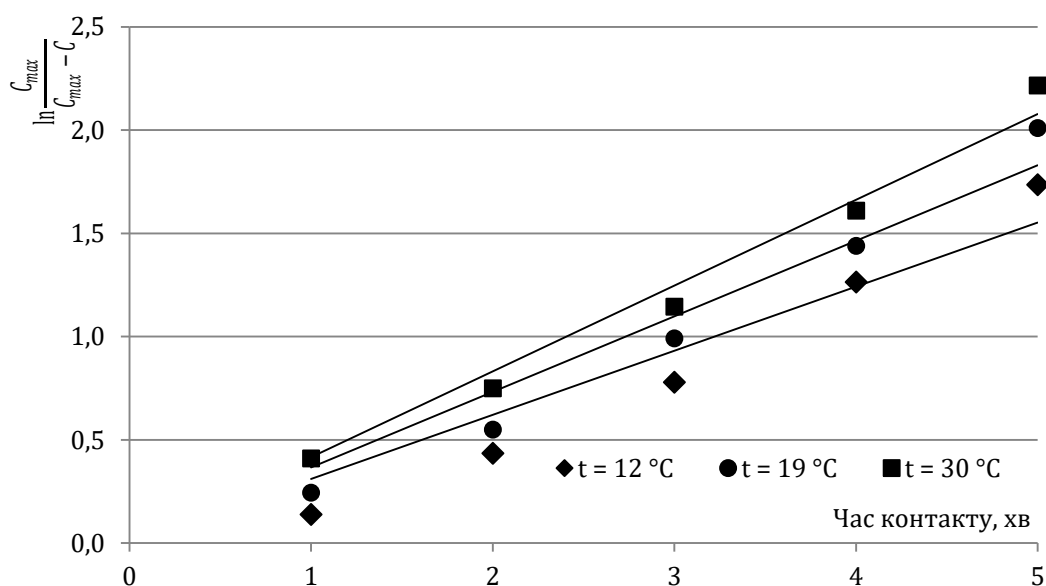


Рисунок 5.6 – Графіки залежності $\ln \frac{C_{\max}}{C_{\max} - C} = f(\tau)$ для матеріалу Calcite за різних температур

В таблиці 5.4 наведено результати кінетичних досліджень процесу розчинення мінералів.

Таблиця 5.4 – Результати кінетичних досліджень процесу розчинення мінералів

Параметр	Calcite			Corosex		
	12 °C	19 °C	30 °C	11 °C	19 °C	30 °C
Одержане рівняння Щукарева	$\ln \frac{C_{\max}}{C_{\max} - C} = 0,3105 \cdot \tau$	$\ln \frac{C_{\max}}{C_{\max} - C} = 0,3659 \cdot \tau$	$\ln \frac{C_{\max}}{C_{\max} - C} = 0,4156 \cdot \tau$	$\ln \frac{C_{\max}}{C_{\max} - C} = 0,4354 \cdot \tau$	$\ln \frac{C_{\max}}{C_{\max} - C} = 0,3727 \cdot \tau$	$\ln \frac{C_{\max}}{C_{\max} - C} = 0,3364 \cdot \tau$
Достовірність апроксимації R^2	0,9461	0,9532	0,9808	0,9431	0,9571	0,9807
Константа швидкості k , хв^{-1}	0,3105	0,3659	0,4156	0,4354	0,3727	0,3364
Значення рН при $\tau = 5$ хв	7,1	7,64	7,95	7,92	8,64	8,88
Значення ЗСВ при $\tau = 5$ хв, мг/дм^3	70	84	98	88	103	110
Максимальне значення ЗСВ $C_{\max}$, мг/дм^3	85	97	110	96	118	132

Одержані дані дозволяють застосувати модифіковане рівняння Щукарєва (розв'язане відносно C) як із метою визначення значення ЗСВ для певного часу контакту:

$$C_{\tau} = \frac{C_{\max}^t \cdot e^{k_t \cdot \tau} - C_{\max}^t}{e^{k_t \cdot \tau}}, \quad (5.1)$$

де C_{τ} – розраховане значення ЗСВ для часу контакту τ , мг/дм³;

k_t – константа швидкості процесу розчинення за даної температури t ;

τ – час контакту, хв;

$C_{\max}^t$ – максимальне значення ЗСВ за даної температури t , мг/дм³,

так і з метою обчислення значення часу контакту, необхідного для досягнення заданого ЗСВ:

$$\tau = \frac{\ln C_{\max}^t - \ln(C_{\max}^t - C_{\tau})}{k_t}, C_{\tau} \leq C_{\max}^t \quad (5.2)$$

Як видно із наведених вище даних, в рівняння (5.1)-(5.2) входять такі залежні від температури параметри, як k_t та $C_{\max}^t$. Таким чином, доцільно розглянути залежність цих параметрів від температури на основі наявних експериментальних даних.

На рисунку (5.7) наведено розрахункові залежності $C_{\max}^t$ та k_t та від температури.

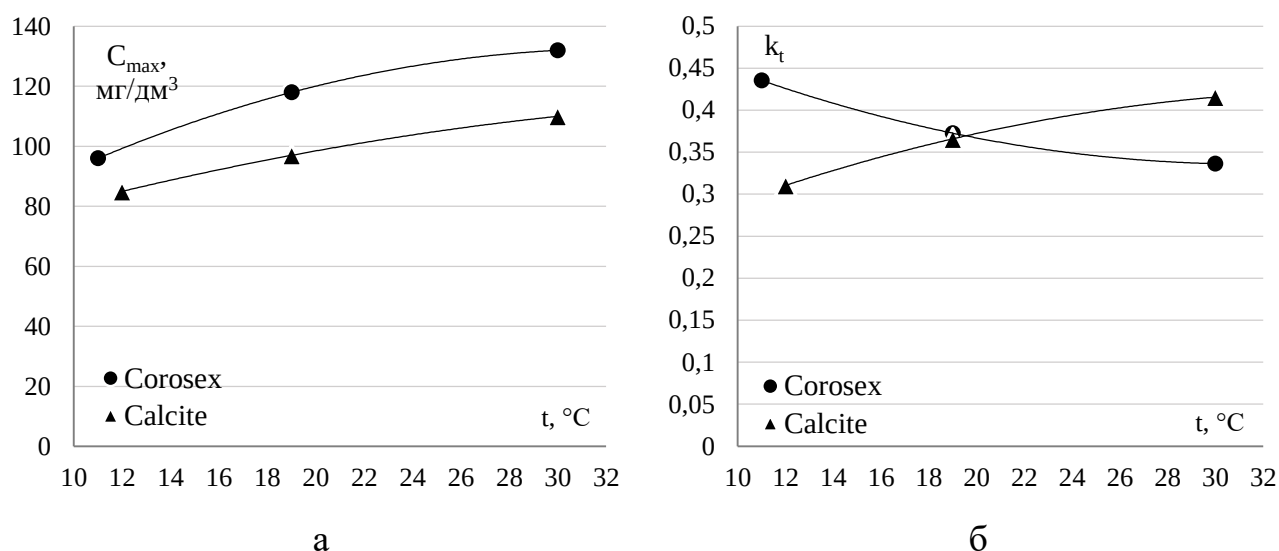


Рисунок 5.7 – Розрахункові залежності $C_{\max}^t$ (а) та k_t (б) від температури.

З метою найбільш точного опису залежностей k_t та $C_{\max}^t$ від температури в досліджуваному проміжку температур (11–30 °C) дані було апроксимовано найбільш придатними рівняннями, обраними за методом найменших квадратів – поліномами 2^{го} порядку. Результати наведено в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Результати дослідження залежностей $C_{\max}^t$ та k_t від температури.

Параметр	Calcite		Corosex	
	$C_{\max}^t$	k_t	$C_{\max}^t$	k_t
Одержане рівняння	$-0,029 \cdot t^2 + 2,6313 \cdot t + 57,684$	$-0,0002 \cdot t^2 + 0,0138 \cdot t + 0,1725$	$-0,0778 \cdot t^2 + 5,0825 \cdot t + 49,5$	$0,0002 \cdot t^2 - 0,015 \cdot t + 0,5715$
Достовірність апроксимації R^2	1	1	1	1

Одержані результати шляхом об'єднання рівнянь з таблиці 5.5. та рівняння 5.2 дозволяють обчислювати необхідний час контакту τ задля досягнення бажаного значення ЗСВ C_τ за температури води t :

$$\tau = f(t, C_\tau) = \frac{\ln(C_{\max}(t)) - \ln(C_{\max}(t) - C_\tau)}{k(t)}, 0 < C_\tau < C_{\max}^t, 10 < t < 30, \tau < 10 \quad (5.3)$$

На рисунках (5.8-5.9) наведено криві, які описуються рівнянням (5.3) для наведених температур води для Corosex та Calcite.

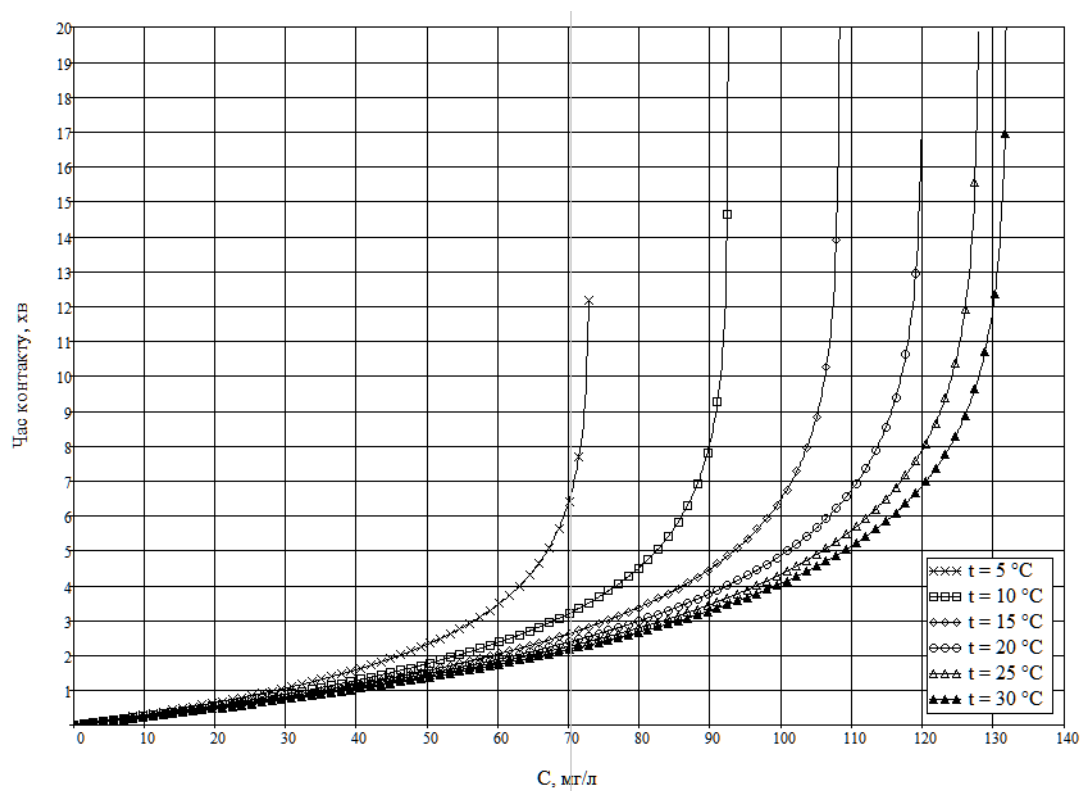


Рисунок 5.8 – Криві $\tau = f(C_\tau)$ для наведених температур для Corosex.

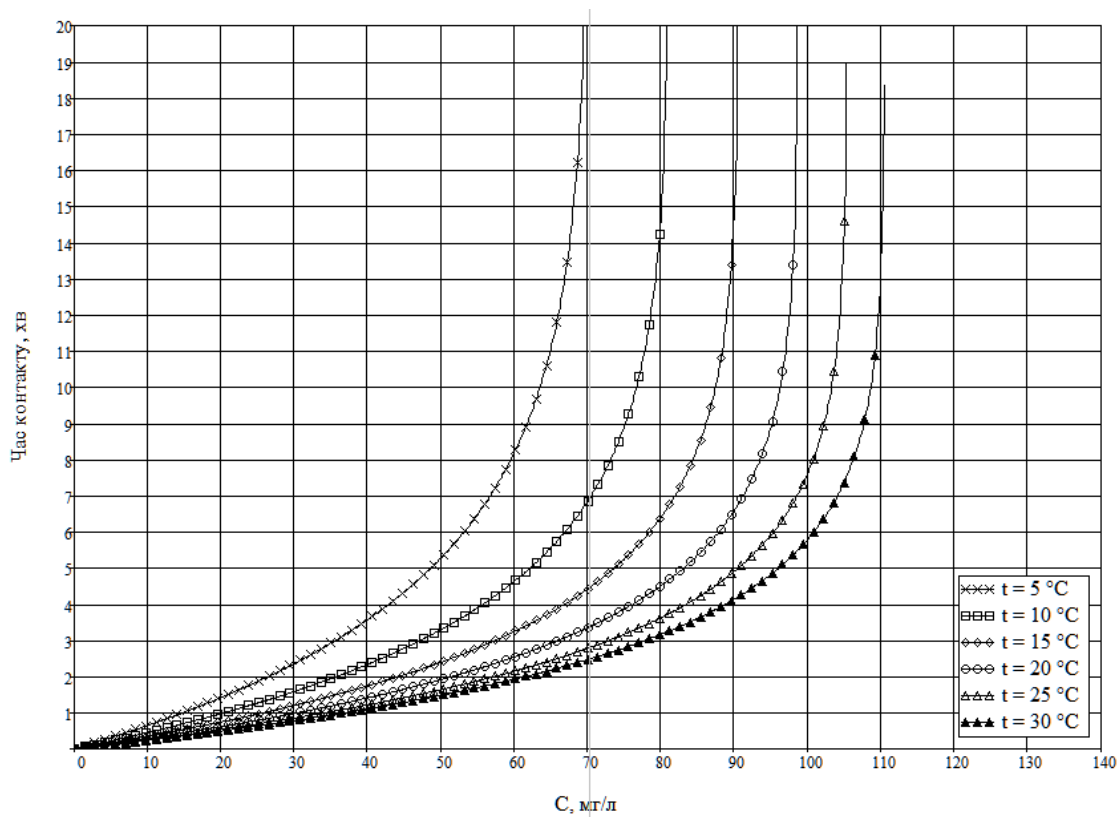
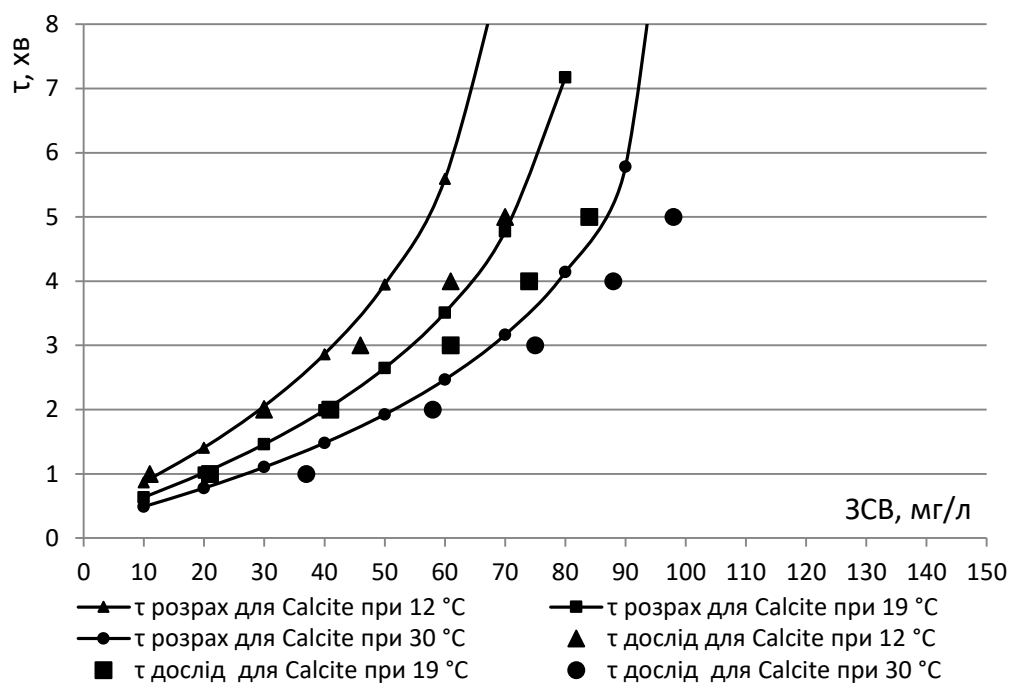
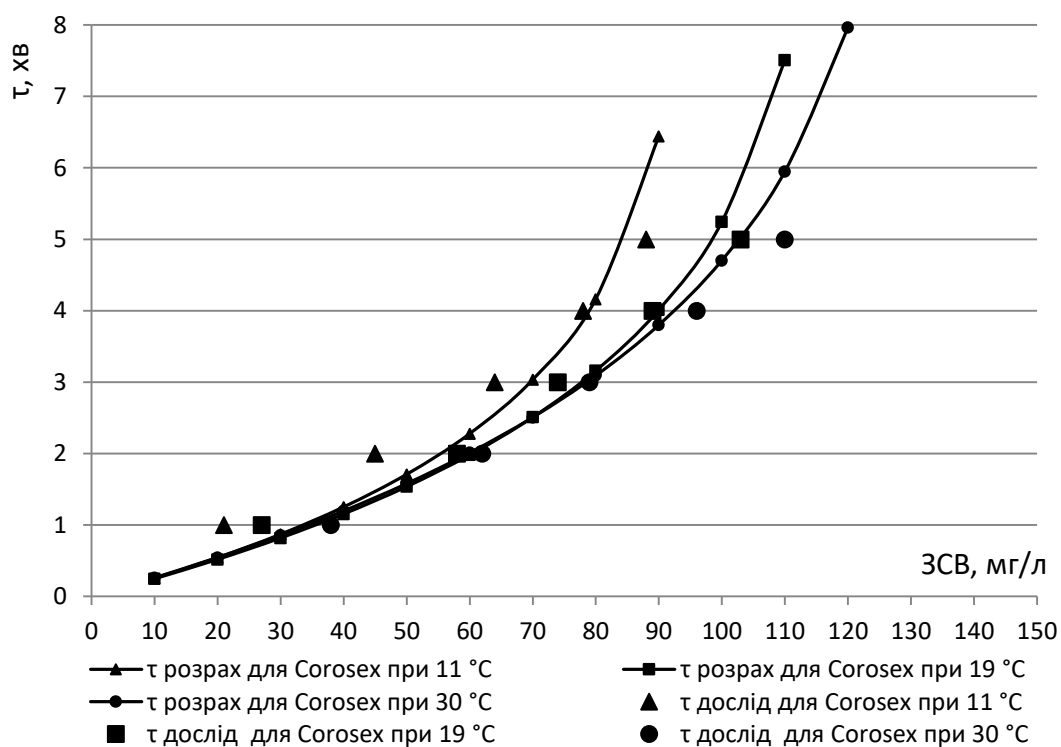


Рисунок 5.9 – Криві $\tau = f(C_\tau)$ для наведених температур для Calcite.

Результати порівняння отриманого рівняння з експериментальними даними наведено на рисунку 5.10.



а



б

Рисунок 5.10 – Результати порівняння розрахункових і експериментальних даних: а – Calcite; б - Corosex

Результати досліджень показують, що Corosex як самостійний матеріал не може бути застосований для домінералізації пермеату ЗО, оскільки максимально допустимий час контакту 2 хвилини не достатній для забезпечення величини ЗСВ, що відповідає вимогам, за жодної температури в досліджуваному інтервалі. В той же час використання Calcite дозволяє підвищити ЗСВ до рівня вимог протягом технологічно допустимого часу (10 хв) лише при температурі, що перевищує 25 °С. Враховуючи це, а також необхідність забезпечити збалансований мінеральний склад домінералізованої води, а саме присутність як іонів кальцію, так і магнію, було вирішено дослідити процес домінералізації води шляхом її послідовного контакту із досліджуваними мінералами.

5.5 Дослідження процесу домінералізації води шляхом її послідовного контакту з мінералами

Дослідження процесу домінералізації двома мінералами проводилось відповідно до методики, описаної в підрозділі 4.3. Спочатку пермеат ЗО домінералізовувався за допомогою Calcite, а потім за допомогою Corosex. Результати досліджень наведено в таблиці 5.6. На рисунку 5.11 наведено кінетичні криві зміни рН та ЗСВ при послідовному контакті пермеату ЗО із Calcite та Corosex.

Таблиця 5.6 – Результати дослідження процесу домінералізації води шляхом послідовного контакту з мінералами при температурі 20 °С

№	Зразок води	рН	ЗСВ, мг/дм ³	Твердість загальна, мг-екв/ дм ³	Са, мг-екв/дм ³	Лужність загальна, мг-екв/дм ³
1	Пермеат ЗО	5,89	5	0,035	0,025	0,15
2	Після 5 хв контакту з Calcite	7,71	93	1,39	1,25	1,53
3	Після 10 хв контакту з Corosex	9,62	129	1,94	1,31	1,86

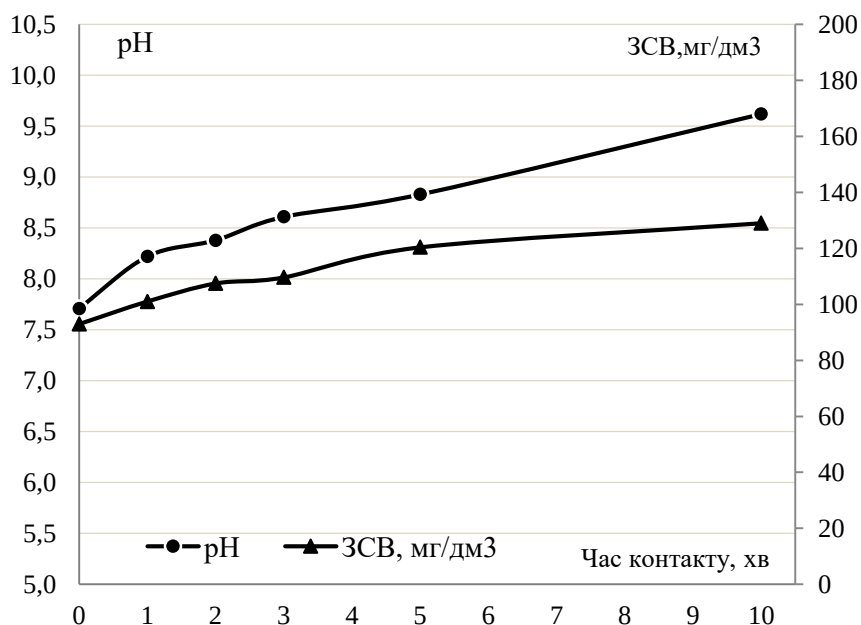


Рисунок 5.11 – Кінетичні криві зміни pH та ЗСВ при послідовному контакті пермеату ЗО із Calcite та Corosex.

Як видно із рисунку (5.11), застосування Corosex для домінералізації пермеату ЗО, попередньо обробленого Calcite, є раціональним за дотримання наступних умов:

- 1) час контакту пермеату ЗО із Calcite – не менше 5 хв;
- 2) час контакту пермеату ЗО із Corosex – не більше 2 хв.

За цих умов контакт води із Corosex дозволяє збільшити ЗСВ та додати у воду магній, при цьому pH домінералізованої води залишається у допустимих межах (менше 8,5) за температури дослідження (20 °C), а за нижчих температур буде ще меншим. Враховуючи це, було вирішено подальші дослідження виконувати із застосуванням комбінованої домінералізації води за допомогою послідовного контакту із Calcite та Corosex.

5.6 Вивчення процесу домінералізації води в динамічних умовах

Дослідження процесу домінералізації здійснювалось відповідно до методики 4.4. При цьому в першому випадку використовувалась стандартна схема побутового зворотного осмосу з мінералізатором із Calcite на виході, зображена на рисунку 4.2. Мінералізатор був заповнений 350 г матеріалу Calcite. Лінійна

швидкість проходження води через мінералізатор становила в середньому 80 м/год. При цьому час контакту пермеату з матеріалом мінералізатора становив 0,14 хв.

При використанні такого мінералізаційного картриджу досягається несуттєва зміна ЗСВ та рН пермеата при тривалому відборі води після простою системи понад 8 год. Це відображено на рисунку 5.12:

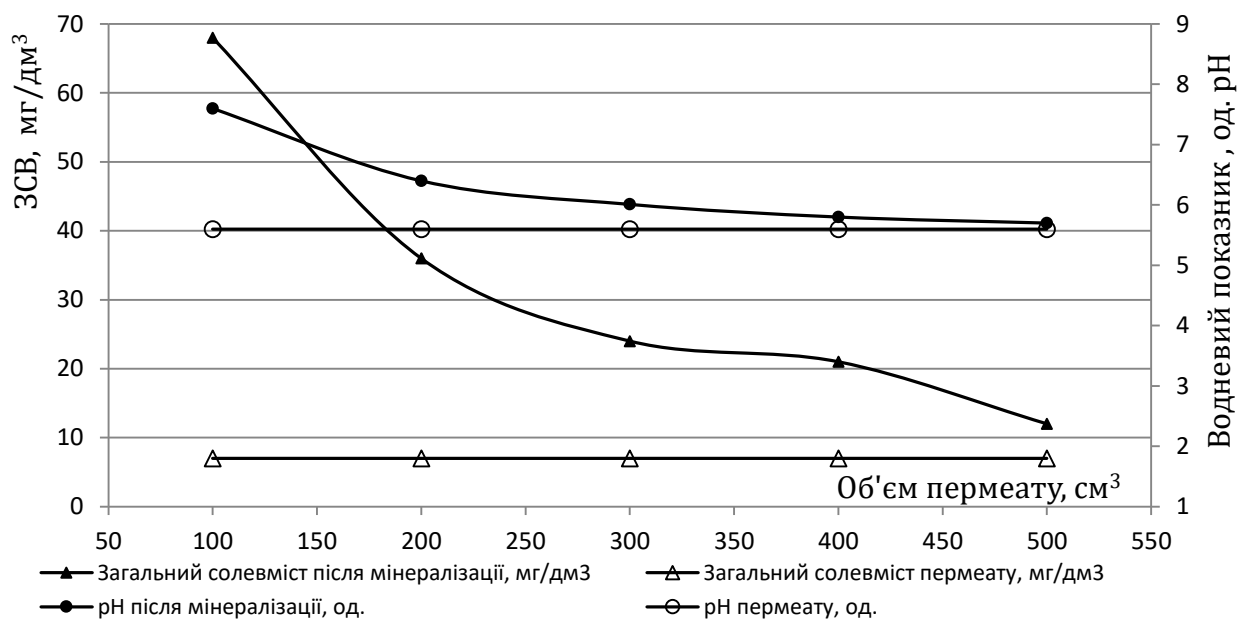


Рисунок 5.12 – Залежності показників якості пермеата від його об'єму, пропущеного через картридж

Оскільки в домашніх умовах споживання води нерівномірне в часі, під час експерименту була протестована робота системи з передбаченими простоями тривалістю 45 год, 15 хв і 5 хв. Результати дослідження представлені на рисунку 5.13.

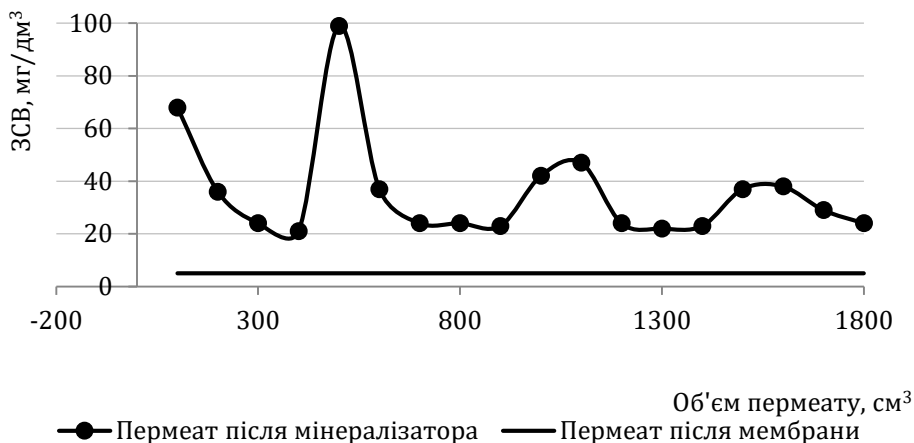


Рисунок 5.13 – Динамічна крива зміни ЗСВ пермеату побутової системи ЗО з різною тривалістю її простою

Дослідження показали, що такий спосіб домінералізації неефективний, оскільки ЗСВ пермеату в проточному режимі роботи системи становить 20–25 мг/дм³ при вихідному ЗСВ пермеату 5 мг/дм³, а також рН становить 5,5–6, що не відповідає нормам. Низька ефективність ремінералізації води за допомогою кальциту в побутових системах зворотного осмосу пов'язана із високою швидкістю проходження води через мінералізаційний картридж і, як наслідок, недостатнім часом контакту пермеата із кальцитом.

Тому було запропоновано модифікувати стандартну схему перемістивши мінералізатор не на виході з системи, а перед накопичувальним баком. Особливість такого положення в тому, що пермеат проходить через шар мінералів не тільки при прямому потоці в бак-накопичувач, а й при зворотному, коли відкривається кран-фасетка (рисунок 5.14).

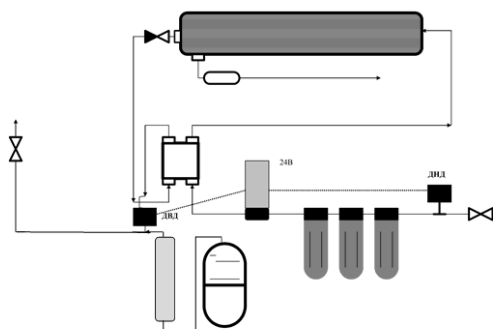


Рисунок 5.14 – Модифікована система побутового ЗО з мінералізатором перед баком-накопичувачем

Оскільки швидкість потоку пермеату з мембрани значно менша, ніж з баку (5-8 $\text{дм}^3/\text{год}$ і 100-160 $\text{дм}^3/\text{год}$ відповідно), в такому випадку зменшується лінійна швидкість і забезпечується більш тривалий контакт пермеату з мінералом. Також наявність перед розливом питної води накопичувальної ємності (баку), в якій усереднюється склад води, забезпечує однакові значення ЗСВ пермеату навіть після періодів простою.

Крім того, коли починається розбір питної води при відкритті фасетки, відбувається повторне проходження води через шар мінералів. Хоча час контакту значно менший, ніж при першому проходженні, все одно має місце додаткове розчинення мінералу, і ЗСВ води підвищується.

З метою підвищення ефективності домінералізації та забезпечення збалансованого мінерального складу води було запропоновано змінити дану схему, додавши ще один картридж домінералізації, який би містив Corosex. Схема наведена на рисунку 5.15.

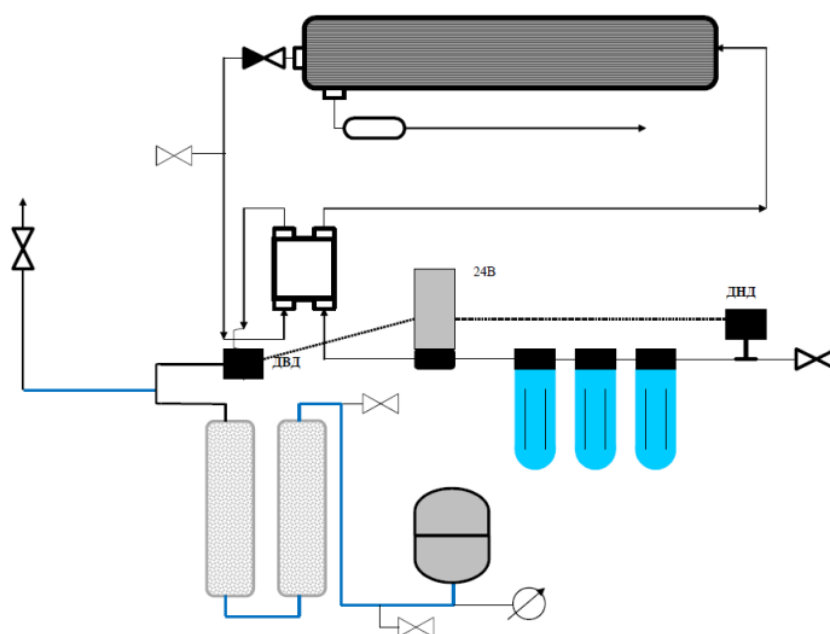


Рисунок 5.15 – Схема експериментальної системи ЗО з 2 послідовними мінералізаторами

Відповідно до кінетичних кривих (5.1) та (5.2), достатня концентрація сполук мінералів досягається за 5 хв контакту із Calcite та 2 хв контакту із Corosex. Враховуючи розміри картриджа, а відповідно об'єм завантаженого мінералу та швидкість потоку пермеату, час контакту при одному проходженні води через мінералізатор в середньому становить:

$$\tau = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot L \cdot 60}{Q} = \frac{\pi \cdot 2,5^2 \cdot 25 \cdot 60}{6500} = 4,5 \text{ хв}, \quad 5.4$$

де τ – час контакту, хв;

r – радіус картриджа, см;

L – довжина картриджа, см;

Q – об'ємна витрата пермеату, см³/год,

що майже відповідає визначеному раніше часу контакту із Calcite та удвічі перевищує необхідний час контакту із Corosex.

З метою застосування в подальшому стандартних типорозмірів картриджів було вирішено заповнити другий картридж мінералом Corosex в об'ємі, що відповідає 2 хв контакту, а решту об'єму картриджа заповнити мінералом Calcite. Результати наведено на рисунку 5.16.

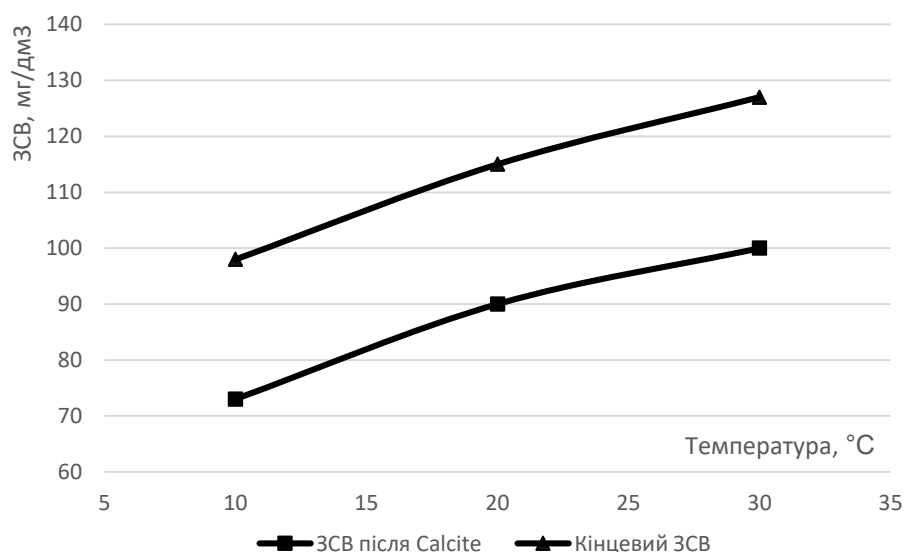


Рисунок 5.16 – ЗСВ домінералізованої води після проходження двох картриджів

Таким чином, подальшим випробуванням підлягала побутова система зворотного осмосу, до складу якої входили два мінералізаційних картриджа, перший з яких містив 350 г Calcite, а другий – 150 г Corosex та 200 г Calcite. При цьому час контакту з мінералом Calcite складав близько 7 хвилин, а з мінералом Corosex – близько 2 хвилин.

5.7 Пілотні випробування запропонованої схеми

Запропонована схема системи ЗО із послідовним контактом пермеату з Calcite та Corosex (рисунок 5.15) була випробувана протягом тривалого часу (понад 120 днів). Середньодобовий об'єм використання води складав 6 л протягом 5 днів на тиждень, система працювала в автоматичному режимі, заповнюючи та зливаючи бак. Відбір проб виконувався раз на тиждень. Результати пілотних випробувань наведені в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Результати дослідження процесу домінералізації води шляхом послідовного контакту з мінералами.

№№	Дата	Пропущений об'єм води, л	t води, °C	ЗСВ, мг/дм ³	pH, од,	Ca, мг/дм ³	Mg, мг/дм ³	Лужність загальна, мг- екв/дм ³
1	02.09.2016	6	20	152	8,34	37	14	1,7
2	09.09.2016	48	18	136	8,04	33	12	1,5
3	16.09.2016	90	18	135	8,05	33	12	1,5
4	23.09.2016	132	19	143	8,20	35	13	1,6
5	30.09.2016	174	18	143	8,09	35	13	1,6
6	07.10.2016	216	17	142	7,96	35	13	1,6
7	14.10.2016	258	18	147	8,09	36	13	1,6
8	21.10.2016	300	17	142	7,93	34	13	1,6
9	28.10.2016	342	16	138	7,76	33	12	1,5
10	04.11.2016	384	15	127	7,52	31	11	1,4
11	11.11.2016	426	12	111	6,99	27	10	1,2
12	18.11.2016	468	14	126	7,43	31	11	1,4
13	25.11.2016	510	12	114	7,03	28	10	1,2
14	02.12.2016	552	12	112	7,08	27	10	1,2
15	09.12.2016	594	13	116	7,23	28	10	1,3
16	16.12.2016	636	13	109	6,71	27	10	1,2
17	23.12.2016	678	12	112	6,99	27	10	1,2
18	30.12.2016	720	12	109	6,74	26	10	1,2
19	06.01.2017	762	11	108	6,73	26	10	1,2
20	13.01.2017	804	12	112	6,99	27	10	1,2

Аналіз результатів пілотних випробувань показав високу ефективність запропонованого методу в процесі домінералізації води на ПСЗО – протягом випробувань величина ЗСВ не була нижче 100 мг/дм^3 , загальна твердість була вища за 1 ммоль/дм^3 , при чому включала як кальцієву, так і магнієву складові, а величина рН не перевищувала значення 8,5, що відповідає всім вимогам до фізіологічної повноцінності штучно демінералізованої води.

6. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ДОМІНЕРАЛІЗАЦІЇ ВОДИ

Одержані результати вивчення особливостей розчинення мінералів та організації процесу дозволяють пропонувати обрану схему домінералізації пермеата ЗО з метою покращення його мінерального складу.

До питань, які необхідно розглянути з метою створення технології домінералізації можна віднести наступні:

- 1) визначення робочих параметрів очищення води – час контакту пермеату з матеріалами;
- 2) вибір типу фільтрувального апарата для обробки води;
- 3) місце картриджа-мініералізатора у схемі системи побутового зворотного осмосу.

Час контакту. З вищенаведених даних видно, що необхідно забезпечити час контакту із матеріалом Calcite не менше 5 хв та час контакту із Corosex – не більше 2 хв для забезпечення ефективної та збалансованої домінералізації.

Вибір типу апарата. Як було показано при дослідженні особливостей перебігу процесу розчинення мінералів, для домінералізації достатньо забезпечити контакт пермеату із мінералами із дотриманням необхідного часу контакту, або ж відповідної лінійної швидкості фільтрування.

Таким чином, запропонована технологія застосування мінералів у процесі домінералізації води може розглядатися як аналог технології механічного фільтрування, сорбції та інших подібних технологій із застосуванням зернистих фільтрувальних матеріалів. При цьому застосування мініералізатора не передбачає жодних стадій процесу, спрямованих на відновлення робочих властивостей матеріалу – регенерації, зворотної промивки тощо – окрім заміни фільтрувального матеріалу після вичерпання його ефективного ресурсу.

Це дозволяє пропонувати для даної технології стандартні фільтрувальні апарати, які використовуються для інших методів обробки води із застосуванням тих чи інших зернистих фільтрувальних матеріалів – піску, спеціальних фільтрувальних матеріалів, активованого вугілля тощо.

Як правило, такі фільтрувальні апарати представляють собою картридж, наповнений фільтрувальним матеріалом. Пропонується застосовувати картридж, подібний до того, що використовувався в даних дослідженнях. Схематичне зображення такого картриджа наведене на рисунку 6.1.



Рисунок 6.1 – Схематичне зображення картриджа-мінералізатора

До того ж, використання картриджного фільтра забезпечує легке обслуговування системи ЗО та швидку і просту заміну відпрацьованого картриджа.

У пропонованій схемі застосовується один картридж із Calcite та після нього один картридж, заповнений 45% Corosex та 55% Calcite для забезпечення необхідного часу контакту пермеату з мінералами.

Схема системи ЗО із домініралізацією. Отримані дані показують, що при застосуванні картриджа-мінералізатора достатньо забезпечити контакт пермеату з мінералами, що знаходяться у фільтрувальному картриджі, із дотриманням необхідних швидкостей фільтрування.

Тому пропонується для домініралізації води використовувати модифіковану установку побутового ЗО зі зміною розташування картриджів-мінералізаторів. Мінералізатори встановлюються на лінії подачі пермеату з мембрани в бак-накопичувач, як це зображено на рисунку 6.2. Це забезпечує достатній час контакту пермеату з матеріалами, а відповідно і значення ЗСВ. Також таким чином забезпечується стабільний склад питної води, навіть після

простоїв, оскільки між мінералізатором і точкою розбору питної води з'являється усереднююча ємність – бак-накопичувач.

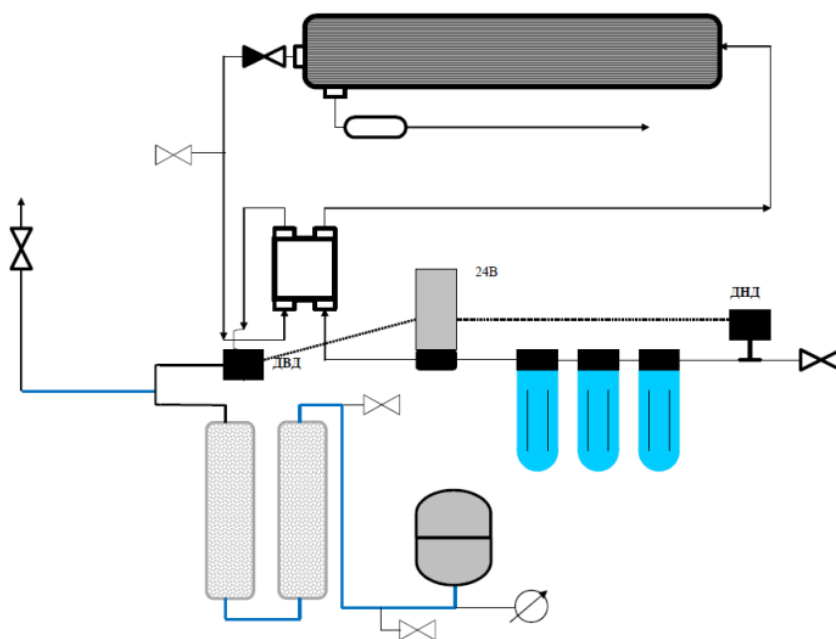


Рисунок 6.2 – Запропонована схема системи побутового ЗО з мінералізаторами перед баком-накопичувачем

З урахуванням даних рекомендацій НВО «Екософт» було розроблено та впроваджено у промисловий випуск ПСЗО «Ecosoft AquaCalcium».

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У лабораторії присутні шкідливі, подразнюючі, пожежо- і вибухонебезпечні речовини та матеріали, використовується теплова, електрична енергія та енергія хімічних реакцій. Науково-дослідна робота виконувалася з врахуванням вимог охорони праці. На основі аналізу шкідливих і небезпечних факторів розроблено заходи охорони праці, пожежної безпеки та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

7.1 Охорона праці

7.1.1 Виявлення та аналіз шкідливих і небезпечних факторів. Заходи охорони праці

7.1.1.1 Повітря робочої зони

Згідно з ДСН 3.3.6.042-99 визначено категорію робіт як II б (середньої важкості), що виконуються в лабораторії, і наведена характеристика санітарних норм параметрів мікроклімату для хіміко-технологічної лабораторії у таблиці 7.1.

До категорії II б належать роботи, що виконуються стоячи, пов'язані з ходінням, переміщенням невеликих (до 10 кг) вантажів та супроводжуються помірним фізичним напруженням.

Температура внутрішніх поверхонь робочої зони (стіни, підлога, стеля), технологічного обладнання (екрани і т. ін.), зовнішніх поверхонь технологічного устаткування, огорожуючих конструкцій не повинна виходити більш ніж на 2 °С за межі оптимальних величин температури повітря для даної категорії робіт, вказаних в таблиці 7.1. Перепад температури повітря по висоті робочої зони при забезпеченні допустимих умов мікроклімату не повинен бути більше 3 °С для всіх категорій робіт. У холодний період року фактичні значення параметрів мікроклімату підтримуються за рахунок використання системи центрального водяного опалення.

Таблиця 7.1 – Санітарні норми параметрів мікроклімату в лабораторії

Категорія роботи	Період року	Параметр мікроклімату	Нормовані значення мікроклімату	
			Оптимальні	Фактичні
<i>II б</i>	Холодний	Температура, °С	17 – 19	18
		Відносна вологість повітря, %	40 – 60	50
		Швидкість руху повітря, м/с	0,2	0,1
	Теплий	Температура, °С	20 – 22	21
		Відносна вологість повітря, %	40 – 60	55
		Швидкість руху повітря, м/с	0,3	0,2

Провівши виявлення та аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів (ШНВФ) в хімічній лабораторії, де проводиться науково-дослідна робота, було встановлено, що основними ШНВФ є реагенти для аналітичних досліджень.

У таблиці 7.2 наведена коротка санітарна характеристика приміщення лабораторії.

Таблиця 7.2 – Коротка санітарна характеристика приміщення хіміко-технологічної лабораторії

Назва лабораторії	Шкідливі речовини, що виділяються, причини їх виділення	Група шкідливої речовини, характеристика шкідливого впливу	ГДК шкідливої речовини у повітрі робочої зони, мг/м ³	Клас небезпечності шкідливої речовини	Засоби індивідуального захисту: тип, марка стандарт	Засоби долікарняної допомоги	Методи контролю вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони	Клас лабораторії згідно з СН 245-71	Санітарна група лабораторного процесу згідно зі СНиП 2.09.04-87
	НСІ 0,1 Н, внаслідок незакриття ємності	Подразнюючі, викликає хімічні опіки, запалення верхніх та глибоких органів дихання	1	II	Халат ГОСТ 12.4.103-83, напівмаска ГОСТ 12.4.034-85	Промивання місця ураження водою і 2% розчином NaHCO ₃	Періодичний контроль за допомогою індикаторних методів хімічного аналізу	V	1a
	NaOH 1Н, внаслідок незакриття ємності	Подразнюючі, викликає опіки, подразнює слизові оболонки	1	II		Промивання місця ураження водою і 5% розчином CH ₃ COOH			
	Трилон Б 0,1 Н, внаслідок незакриття упаковки	Подразнюючі, речовина подразнює очі, шкіру і дихальні шляхи	5	III		Промивання місця ураження водою			

7.1.1.2 Освітлення робочої зони

Згідно з ДБН В.2.5-28-2006 було визначено, що в лабораторії виконуються зорові роботи IVa розряду. Використовується система природного бокового освітлення, що здійснюється через світлові отвори (вікна) в зовнішній стіні та система штучного загального рівномірного освітлення. Санітарні норми параметрів освітлення наведені в таблиці 7.3.

Фактичне значення освітленості при використанні штучного освітлення становить 400 лк, що відповідає нормі. В якості джерел штучного освітлення використовуються люмінесцентні світильники ВОД з лампами ЛБ, які розміщені у верхній зоні приміщення для здійснення загального рівномірного та загального локалізованого освітлення. Дані світильники за своєю будовою є захищеними від пилу, вологи і хімічно активного середовища.

Таблиця 7.3 – Санітарні норми і фактичні значення параметрів освітлення

Характеристика зорової роботи	Розряд зорової роботи	Штучне освітлення				Природне освітлення		Суміщене освітлення	
		Освітленість, лк				КПО, e_n , %			
		При системі комбінованого освітлення			При системі загального освітлення	При верхньому або комбінованому освітленні	При боковому освітленні	При верхньому або комбінованому освітленні	При боковому освітленні
		всього	у т. ч. від загального	Фактичне значення					
Середньої точності	IVa	750	200	400	300	4	1,5	2,4	0,9

Контроль освітленості проводиться один раз на півроку та після кожного ремонту системи освітлення за допомогою люксметра Ю 116.

7.1.1.3 Захист від виробничого шуму та вібрації

Допустимий рівень звуку при виконанні висококваліфікованої роботи, вимірювальної та аналітичної роботи складає 60 дБА (ДСН 3.3.6.037-99).

Джерелами шуму та вібрації при виконанні НДР у лабораторії була витяжна шафа. Загальний рівень шуму складав 32 дБА і не перевищував допустимі норми, а отже не впливав негативно на організм людини, тому немає необхідності розробляти додаткові заходи.

7.1.1.4 Електробезпека

Ураження людей електричним струмом можливе при порушенні електроізоляції, коли під напругою можуть опинитися струмопровідні елементи обладнання. У цьому випадку заходом запобігання ураження людей електричним струмом є ізоляція струмопровідних частин. Струмопровідною також є підлога.

Для захисту від ураження струмом використовується керамічна плитка. У лабораторії використовується електрообладнання, яке живиться від трьохфазної чотирьохпровідної електромережі змінного струму з частотою 50 Гц та напругою 380/220 В з глухозаземленою нейтраллю.

Ураження людини електричним струмом в умовах робочої зони може виникнути з умов дотику до металевих корпусів обладнання та незаземлених металевих предметів, які опинилися під напругою.

Джерелами ураження електричним струмом є випрямлячі, струмопровідники, а також металевий корпус лінії. Причиною ураження може бути перехід напруги мережі 220 В у ланцюг живлення лінії в результаті порушення цілісності ізоляції.

Розраховуємо силу струму, що проходить крізь тіло людини при одно- і двофазному дотику до струмопровідних елементів, що перебувають під напругою:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\phi} \cdot 10^3}{R_{\text{л}} + R_o}, \text{мА}, \quad (7.1)$$

де $R_{\text{л}} = 2 \dots 4$ кОм – опір тіла людини;

$R_o = 4$ Ом – опір нейтралі заземлення;

$U_{\phi} = 220$ В – фазова напруга.

Відповідно до ГОСТ 12.1.038-84 в нормальному режимі роботи електрообладнання $I = 0.3$ мА, $U = 2$ В, а при аварійному режимі - $I = 6$ мА, $U = 36$ В.

$$I_{\text{л}} = \frac{220 \cdot 10^3}{2000 + 4} = 0,11 \text{ А}.$$

Напруга дотику:

$$U_{\text{д}} = I_{\text{л}} \cdot R_{\text{л}} \cdot 10^3 = 0,11 \cdot 2000 = 220 \text{ В}. \quad (7.2)$$

Отже, як бачимо розраховані значення $I_{\text{л}}$ і $U_{\text{д}}$ значно перевищують наведені вище нормативні значення. Це свідчить про те, що при порушенні вимог правил будови електрообладнання (ПБЕ) у приміщенні лабораторії можливі електротравми з тяжкими наслідками. Приміщення лабораторії відноситься до приміщення без підвищеної небезпеки згідно з ПБЕ, оскільки характеризується відсутністю умов, які створюють підвищену або особливу небезпеку.

Оскільки, в умовах лабораторій небезпечною є дія на людину будь-якого відчутного струму, захисту від випадкового дотику піддаються всі струмоведучі частини обладнання незалежно від напруги. В особливо тяжких умовах знаходиться ізоляція електрообладнання, яке знаходиться у витяжній шафі. Тому

мережеві шнури з поліхлорвініловою ізоляцією по всій довжині захищені резиновим шлангом.

Для забезпечення електробезпеки використовуються окремо чи у поєднанні один з одним такі способи та засоби:

- електроізоляція струмоведучих частин;
- електрозахисті засоби: діелектричний коврик, діелектричні рукавиці, діелектричне взуття, ізолювальні підставки, плакати та знаки безпеки;
- захисне заземлення;
- захисне відключення електроустановок при виникненні в них небезпеки ураження струмом.

Так, під час виконання науково-дослідної роботи використовується апаратура з заземленням I класу, тобто заземлення відбувається автоматично при включенні вилки в розетку.

7.2 Безпека у надзвичайних ситуаціях

7.2.1 Пожежна безпека

Причинами виникнення загорання і вибуху в приміщенні лабораторії можуть бути:

- 1) коротке замикання при пошкодженні електроізоляції електрообладнання;
- 2) занесення в приміщення високих потенціалів блискавки через видовжені елементи конструкцій;
- 3) прямий удар блискавки в об'єкт;
- 4) накопичення зарядів статичної електрики.

Для усунення причин виникнення загорання і вибуху у лабораторії вживаються наступні заходи і засоби:

- 1) застосовуються первинні засоби гасіння пожеж – вогнегасників;
- 2) встановлений блискавкозахист за допомогою стрижньового блискавковідводу;
- 3) передбачено аварійне відключення установок у випадку виникнення загорання;
- 4) використовуються засоби колективного захисту від статичної електрики згідно з ГОСТ 12.4.124-83, а саме використовується відвід зарядів за допомогою заземлення.

Всі хімічні реактиви, що використовуються у науково-дослідній роботі, зберігаються безпосередньо в приміщенні лабораторії. Концентровані хімічно чисті реактиви зберігаються в скляній тарі у витяжній шафі. Хімічні реактиви, що піддаються дії світла, зберігаються в склянках, виготовлених з темного скла або обгорнутих чорним папером, в затемненій частині лабораторії. Хімікати в дрібній тарі зберігаються на стелажах відкритого типу. Хімічні реактиви зберігаються в щільно закритих банках та інших сосудах з наклеєними на них етикетками, на

яких вказані точна назва речовини та її характеристика (вогнебезпе́ка, концентра́ція).

З метою зменшення пожежної небезпеки всі конструкції виконані на 90 % з негорючих матеріалів. Світильник у витяжній шафі передбачений у вибухозахищеній будові. Електропроводка проведена ззовні витяжної шафи, вимикачі та розетки також знаходяться поза витяжною шафою.

Показники пожежної та вибухової небезпечності речовин та матеріалів, що знаходяться в лабораторії, наведено в таблиці 7.4.

Таблиця 7.4 – Показники пожежної та вибухової небезпечності речовин та матеріалів. Класифікація виробництва пожежо- та вибухонебезпечності

Назва дільниці, приміщень зовнішніх установок	Речовини, що мають обіг у виробництві	Агрегатний стан речовини в нормальних умовах	Горючість, займистість, вибухонебезпечність	Показники пожежо- і вибухо небезпечності			Вогнегасячі засоби	Категорія приміщення за ОНТП 34-86	Клас приміщення (зони) і зовнішніх установок згідно з ПУЕ	Категорія об'єкта і тип зони захисту по влаштуванню грозозахисту згідно з БН 305-77
				Температура спалаху	Температура займання	Температура самозаймання				
Хімічна лабораторія	Деревина	тв.	гор	225			Вогнегасники типу ОХП - 10	В	В-1 б	II-б
	Папір	тв.	гор	233			Вогнегасники типу ОХП - 10	В	В-1 б	II-б
	Аміак	р	Вибухо-небезпечний	450			Пісок, ковдра ОХП-10, ОУ-5	В	В-Па	II-б

7.2.2 Безпека експериментальної частини

В експериментах використовувався скляний лабораторний посуд. При порушенні правил роботи з ним можливі механічні порізи шкіри.

З метою забезпечення безпеки працівника при проведенні експериментів передбачені наступні дії:

- 1) всі роботи проводяться в спеціальному халаті;
- 2) всі дослід з концентрованими реагентами проводяться в витяжній шафі при наявності спеціального одягу і захисних окулярів, перед початком роботи перевіряється наявність руху повітря у витяжній шафі;
- 3) реактиви та хімічний посуд зберігаються в окремих шафах;
- 4) в кінці робочого дня вимикають електроенергію і воду;
- 5) обов'язково передбачені медичні аптечки.

Технологічні процеси та обладнання, що використовуються у лабораторії, мають високий рівень безпеки.

Робочі параметри дослідної установки зворотноосмотичного розділення води: продуктивність близько 0,5 дм³/хв., робочий тиск насоса становить 1 – 4 атм, небезпечні моменти при його зупинці та пуску відсутні.

7.2.3 Аналіз небезпеки об'єкту

У лабораторії, згідно Плану ліквідації аварійних ситуацій, можливе виникнення аварій рівня «А». Такий висновок можна зробити, тому що під час роботи не використовуються вибухо- та пожежонебезпечні речовини. Використання шкідливих речовин мінімізоване та виконується з суворим дотриманням усіх необхідних вимог безпеки. Імовірні такі види надзвичайних ситуацій – викид шкідливих речовин та руйнування обладнання.

Аварійні ситуації можуть виникнути в разі: ураження електричним струмом, виходу з ладу водопостачання, витікання газу з балонів, вибух балонів з киснем, підвищена загазованість приміщення, розлив розчинів концентрованих

реагентів, вихід з ладу механічного та електричного обладнання, займання або самозаймання речовин, вихід з ладу вентиляції та інше.

В разі аварійної ситуації забороняється допускати сторонніх осіб в небезпечну зону, повідомити про те, що сталося керівника робіт. Особи, які зайняті ліквідацією аварій, повинні бути забезпечені індивідуальними засобами захисту. При виникненні пожежі викликати пожежну частину та приступити до гасіння підручними засобами пожежогасіння. Якщо є потерпілі надавати їм першу медичну допомогу; при необхідності викликати швидку допомогу. Виконувати всі вказівки керівника робіт по ліквідації небезпеки.

Оцінка надійності захисту робітників і службовців об'єкта з використанням захисних споруд за місткістю

1. Розраховуємо кількість місць $M_{\text{пр}}$ за площею приміщення для укриття людей, виходячи з норми на одну людину: $S_1=0,5 \text{ м}^2$ при висоті $h=2,1-2,9 \text{ м}$, яка дозволяє встановити двоярусні нари.

$$M_{\text{пру}} = \frac{S_{\text{пр}}}{S_1} = \frac{40}{0,5} = 80 \text{ осіб}; \quad (7.3)$$

$$M_8 = \frac{S_{\text{пр}}}{S_1} = \frac{220}{0,5} = 440 \text{ осіб}; \quad (7.4)$$

$$M_{12} = \frac{S_{\text{пр}}}{S_1} = \frac{220}{0,5} = 440 \text{ осіб}. \quad (7.5)$$

2. Розраховуємо кількість місць за об'ємом приміщень M_0 . Ця кількість повітря передбачається для забезпечення життєдіяльності людей протягом 3-4 годин на випадок, коли буде порушено повітропостачання. Для цього визначимо об'єм всіх приміщень в зоні герметизації основних і допоміжних.

$$M_{0ппр} = \frac{(S_{пр} + S_{д}) \cdot h}{1,5} = \frac{(40 + 7) \cdot 2,1}{1,5} = 66 \text{ осіб}; \quad (7.6)$$

$$M_{08} = \frac{(S_{пр} + S_{д}) \cdot h}{1,5} = \frac{(220 + 78 + 10) \cdot 2,2}{1,5} = 451 \text{ осіб}; \quad (7.7)$$

$$M_{012} = \frac{(S_{пр} + S_{д}) \cdot h}{1,5} = \frac{(220 + 78 + 10) \cdot 2,2}{1,5} = 451 \text{ осіб}. \quad (7.8)$$

3. Порівнюємо кількість місць з площею та за об'ємом і визначаємо фактичну місткість сховищ (менша за значенням):

$$M_{пру} = \min\{80; 66\} = 66 \text{ осіб}; \quad (7.9)$$

$$M_8 = \min\{451; 440\} = 440 \text{ осіб}; \quad (7.10)$$

$$M_{12} = \min\{451; 440\} = 440 \text{ осіб} \quad (7.11)$$

4. Розраховуємо загальну місткість усіх захисних споруд об'єкта:

$$M_3 = M_{пру} + M_8 + M_{12} = 66 + 440 + 440 = 946 \text{ осіб} \quad (7.12)$$

5. Визначаємо коефіцієнт місткості захисних споруд об'єкта:

$$K_M = \frac{M_3}{N} = \frac{946}{800} = 1,18. \quad (7.13)$$

6. Визначаємо необхідну кількість нар в кожній захисній споруді. Висота 2,3 м дозволяє встановити дволярусні нари (одні нари на 5 чоловік).

$$H_{пру} = \frac{M_{пру}}{5} = \frac{66}{5} = 14 \text{ нар}; \quad (7.14)$$

$$H_8 = \frac{M_8}{5} = \frac{440}{5} = 88 \text{ нар}. \quad (7.15)$$

8 ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

8.1 Розрахунок собівартості виконання дипломної роботи

Собівартість виконання дипломної роботи, як один з найважливіших економічних показників, відображає рівень матеріальних та трудових витрат.

До собівартості входять вартість основних виробничих фондів, оборотні фонди, а також опосередковані витрати.

8.1.1 Вартість матеріалів, що використовуються при виконанні дипломної роботи

Розрахунок вартості матеріалів здійснюється відповідно до їх прейскурантної ціни і кількості з урахуванням транспортно-заготівельних витрат у розмірі 10% від загальної суми (таблиця 8.1).

Таблиця 8.1 – Розрахунок вартості матеріалів

Найменування	Одиниця виміру	Кількість, од.	Ціна, грн.	Сума, грн.
Папір А4	упак.	1 (500 шт.)	50,00	50,00
Чорнила для принтера (картридж)	шт.	1	30,00	30,00
Ручка	шт.	3	3,00	9,00
USB – накопичувач	шт.	1	50,00	50,00
Скріпки	упак.	1	3,00	3,00
Сума				142,00
Невраховані матеріали (10%)				14,20
Сума				156,20
Транспортно-заготівельні витрати (10%)				15,62
Всього				171,82

8.1.2 Розрахунок витрат на опалення

Тривалість виконання науково-дослідної роботи складає 14 тижнів, що становить 560 робочих годин.

Вартість газового опалення для підприємств в Україні складає 6,12 грн. за 1 м³ природного газу. На опалення приміщення необхідно в середньому 1,1 м³ природного газу на годину.

Отже, витрати на опалення складуть, грн.:

$$B_{\text{опалення}} = 6,12 \cdot 1,1 \cdot 560 = 3769,92 \text{ грн.}$$

8.1.3 Вартість електроенергії, витраченої при виконанні дипломної роботи

Витрати електроенергії для виконання дипломної роботи включають витрати на спожиту системним блоком, монітором, принтером електроенергію. Вартість 1 кВт спожитої електроенергії складає 1,16 грн.

Фактичні витрати електроенергії визначають за формулою:

$$E = \text{Ц} \cdot \sum_{i=1}^n M_i \cdot T_i,$$

де Ц – вартість одиниці спожитої енергії, грн./(кВт·год.);

M_i – потужність i -го токоприймача, кВт;

T_i – фактичний час роботи i -го токоприймача, год.;

n – кількість токоприймачів.

Розрахунок вартості енергозатрат при виконанні дипломної роботи наведено в таблиці 8.2.

Таблиця 8.2 – Розрахунок вартості енергозатрат при виконанні дипломної роботи

№ з/п	Найменування обладнання	Кількість	Потужність, кВт	Вартість, грн./кВт·год.)	Час роботи, год	Сума, грн.
1	Системний блок	1	0,3	1,16	480	167,04
2	Монітор	1	0,1	1,16	480	55,68
3	Принтер	1	0,15	1,16	20	3,48
Сума						226,20
Невраховане обладнання (10%)						22,62
Всього						248,82

8.1.4 Розрахунок адміністративно-управлінських витрат

Адміністративно-управлінські витрати (АУВ) – витрати на утримання апарату управління та його обслуговування. Враховано в цьому пункті:

- заробітна плата охорони: $4 \cdot 3000 = 12000$ грн./місяць;
- заробітна плата адміністративно-управлінського персоналу – 15000 грн./місяць;
- витрати та на утримання й поточний ремонт будівель – 500 грн./місяць;
- інші витрати – 2000 грн./місяць.

Враховуючи сумарні витрати за один місяць:

$$AUB_{mic} = 12000 + 15000 + 500 + 2000 = 29500 \text{ грн. / місяць.}$$

Оскільки у корпусі працює 15 робочих відділів, розділимо порівну отриману суму на кожний відділ. АУВ за один місяць на один відділ будуть становити:

$$AUB_{mic} = \frac{29500}{15} = 1966,67 \text{ грн. / місяць.}$$

Адміністративно-управлінські витрати за 1 день виконання НДР:

$$AUB_{\text{щоденн.}} = \frac{1966,7}{30 \cdot \frac{6}{7}} = 76,48 \text{ грн. / день.}$$

Щогодинні адміністративно-управлінські витрати:

$$AUB_{\text{щогод}} = \frac{76,48}{8} = 9,56 \text{ грн. / год.}$$

Тривалість виконання НДР – 560 робочих годин. Отже, за час виконання НДР, адміністративно-управлінські витрати складуть:

$$AUB_{\text{заг}} = 9,56 \cdot 560 = 5353,70 \text{ грн.}$$

Оскільки у відділі працює близько 100 людей, то адміністративно-управлінські витрати складуть:

$$AUB = \frac{5353,70}{100} = 53,54 \text{ грн.}$$

8.1.5 Заробітна плата виконавців дипломної роботи

У зв'язку з використанням у даній роботі окремих результатів раніше проведених заходів доцільно при розрахунку заробітної плати враховувати повні трудові затрати, оскільки зарплата з нарахуваннями звичайно мають велику питому вагу в собівартості дипломної роботи.

Дипломну роботу проводить група, що має склад зазначений у таблиці 8.3.

Таблиця 8.3 – Кваліфікаційний склад науково-дослідної групи, що виконує НДР

Посада	Місячний оклад, грн.
Старший науковий співробітник	7000
Інженер I категорії	3000
Інженер III категорії	4000
Консультант (доцент)	7000
Консультант (доцент)	7000

Денна заробітна плата виконавців розраховується виходячи з місячних окладів і середньомісячної кількості робочих днів. Нарахування органам соціального страхування для працівників вищої школи і наукових установ складають 37,5 % від суми основної і додаткової заробітної плати. Додаткова заробітна плата складає 10 % від основної. Розрахунок фонду заробітної плати виконавців дипломної роботи представлений в таблиці 8.4.

Таблиця 8.4 – Розрахунок фонду оплати праці виконавців дипломної роботи

Виконавець	Щоденна з/п, грн.	К-ть відпрацьованих днів	З/п основна, грн.	З/п додаткова, грн.	Фонд з/п, грн.	Відрахування в фонд соціального страхування (37,5%)	Всього
Старший науковий співробітник	330,81	25	8270,32	827,03	9097,35	3411,51	12508,86
Інженер І категорії	141,78	15	2126,65	212,67	2339,33	877,25	3216,58
Інженер ІІІ категорії	189,04	60	11342,16	1134,22	6238,19	2339,32	8577,51
Консультант (доцент)	330,81	3	922,44	99,24	779,78	292,42	1072,20
Консультант (доцент)	330,81	2	661,63	66,16	519,85	194,94	714,79
ФОП							26089,94

8.1.6 Витрата на основні фонди для виконання НДР

Амортизація – процес поступового перенесення вартості основних фондів на продукт, що виготовляється з їх допомогою.

Вартість устаткування довгострокового використання враховується в цій статті у виді амортизаційних відрахувань. При розрахунку амортизаційних відрахувань беремо фактичний термін використання устаткування в процесі виконання дипломної роботи, що складає 3 місяці.

Основні фонди, які використані в НДР відносяться до 2 групи ОФ (автомобільний транспорт та вузли (запасні частини) до нього; меблі; побутові електронні, оптичні, електромеханічні прилади та інструменти, інше конторське (офісне) обладнання, устаткування та приладдя до них), та групи 4 (електронно-обчислювальні машини, інші машини для автоматичного оброблення інформації, пов'язані з ними засоби зчитування або друку інформації, інші інформаційні системи, комп'ютерні програми, телефони (у тому числі стільникові), мікрофони і радії, вартість яких перевищує вартість малоцінних товарів (предметів), отже норма амортизації становить 10 % для 2 групи, та 15 % – для 4 групи.

Дані з розрахунку амортизаційних відрахувань на устаткування для виконання дипломної роботи приведені в таблиці 8.5.

Таблиця 8.5 – Амортизаційні відрахування на устаткування, що використовується при виконанні НДР

Найменування устаткування	Кількість одиниць	Вартість за одиницю, грн.	Загальна вартість, грн.	Норма амортизації, %	Річна сума амортизаційних відрахувань, грн.
Системний блок	1	4000	4000	15	600
Монітор	1	1500	1500	15	225
Миша	1	100	100	10	10
Клавіатура	1	150	150	10	15
Принтер	1	1300	1300	15	195
Сума					1045
Невраховане обладнання, (5%)					52,25
Сума амортизаційних відрахувань, грн.					1097,25
З урахуванням тривалості НДР (3 міс.)					274,31

Оскільки, при виконанні роботи користувалися програмним забезпеченням, то необхідно включити їх у вартість дипломної роботи:

Пакет Microsoft Office – 3814 грн.

Антивірусне забезпечення ESET Smart Security 7.0.316.3 – 815 грн.

В сумі вартість програмного забезпечення (ПЗ) складає:

$$ПЗ = 3814 + 6089 + 815 = 10718$$

На підставі розрахунків по всіх статтях витрат складаємо зведену калькуляцію виконання НДР. Отримані дані заносимо до таблиці 8.6.

Таблиця 8.6 – Зведена калькуляція вартості НДР

№ з/п	Статті витрат	Сума, грн.	Відсоток
1	Матеріали	171,82	0,42
2	Опалення	3769,92	9,12
3	Електроенергія	248,82	0,60
3	Адміністративно-управлінські витрати	53,54	0,13
4	Заробітна плата з нарахуваннями	26089,94	63,13
5	Амортизаційні відрахування	274,31	0,66
6	Нематеріальні активи	10718	25,94
	Всього	41326,35	100

8.2 Функціонально-вартісний аналіз

Функціонально-вартісний аналіз призначений для вибору одного найкращого об'єкту з переліку пропонованих. Оскільки метою даної роботи є розробка технології домінералізації води після побутової системи зворотного осмосу, то доцільно буде порівняти метод очищення води за допомогою мембран зворотного осмосу з іншими побутовими малогабаритними пристроями для очищення води, використовуючи такий інструмент як функціонально-вартісний аналіз.

Оскільки власне очищення води в побутових системах відбувається при її проходженні через картриджі – змінні елементи, котрі вставляються в фільтр, то в якості об'єктів порівняння візьмемо саме їх.

Сьогодні на ринку представлені наступні фільтруючі елементи:

- механічні фільтруючі елементи з синтетичних волокон
- сорбційні фільтруючі елементи з активованим вугіллям
- іонообмінні картриджі
- мембрани зворотного осмосу.

Для вибору найкращого серед них проведемо функціонально-вартісний аналіз.

Формування переліку характеристик об'єкту

При виборі ефективного рішення для домашнього доочищення води необхідно враховувати наступні показники фільтруючого елементу:

- ціна (Ц), грн.;
- собівартість одного л очищеної води (С), грн./дм³;
- ресурс (Р), дм³;
- продуктивність (П), дм³/хв.

Порівняння характеристик за допомогою експертної оцінки

В якості експертів виступили сертифіковані водні спеціалісти ТОВ НВО «Ecosoft».

Таблиця 8.7 – Експертна оцінка характеристик

	Експерт / Експертна оцінка			
Пари параметрів	1 експ.	2 експ.	3 експ.	Бали
Ц-С	<	<	<	0,5-1,5
Ц-Р	<	=	<	0,67-1,33
Ц-П	<	<	=	0,67-1,33
С-Р	<	<	=	0,67-1,33
С-П	<	<	=	0,67-1,33
Р-П	=	=	=	1-1

Таблиця 8.8 – Коефіцієнт вагомості експертів

Експ.	Кв _i
1	0,34
2	0,33
3	0,33
Σ	1

Формування матриці вагомостей характеристик

Таблиця 8.9 – Матриця вагомостей характеристик

	Ц	С	Р	П
Ц	1,84 15,3	0,5	0,67	0,67
С	1,5	2,84 23,7	0,67	0,67
Р	1,33	1,33	3,66 30,5	1
П	1,33	1,33	1	3,66 30,5

Формування бажаних значень характеристик об'єкту

Таблиця 8.10 – Бажані значення характеристик об'єкту

	Ступінь відповідності / Оцінка			
Характеристика	Найкращий	Наближ. до найкращого	Задовільний	Наближ. до задовільного
Ц	0	0-200	200-500	>500
С	0	0-0,05	0,05-0,1	0,1-2
Р	>300 тис	200-300 тис.	100-200 тис.	<100 тис.
П	>10	5-10	1-5	<1
Оцінка	10-8	8-6	6-4	4-0

Вибір найкращого рішення для побутового доочищення води

Таблиця 8.11 – Оцінка фільтруючих елементів

	Тип фільтруючого елементу / Оцінка			
Характеристика	Механічне фільтрування	Активоване вугілля	Іонний обмін	Зворотний осмос
Ц	5	6	4	2
С	2	1	1	6
Р	3	2	1	10
П	8	5	4	7

Розрахунок інтегральних показників:

$$\text{Механічне фільтрування} = 5 \cdot 0,153 + 2 \cdot 0,237 + 3 \cdot 0,305 + 8 \cdot 0,305 = 4,6$$

$$\text{Активоване вугілля} = 6 \cdot 0,153 + 1 \cdot 0,237 + 2 \cdot 0,305 + 5 \cdot 0,305 = 3,3$$

$$\text{Іонний обмін} = 4 \cdot 0,153 + 1 \cdot 0,237 + 1 \cdot 0,305 + 4 \cdot 0,305 = 2,4$$

$$\text{Зворотний осмос} = 2 \cdot 0,153 + 6 \cdot 0,237 + 10 \cdot 0,305 + 7 \cdot 0,305 = 6,9$$

Найкращим для домашнього доочищення води є рішення, у якого найбільший інтегральний показник, тобто мембрани зворотного осмосу.

8.3 Висновки до розділу

В даному розділі було проведено розрахунок собівартості виконання дипломної роботи, яка складає 37752 грн.

За допомогою експертної групи фахівців з водопідготовки, використовуючи функціонально-вартісний аналіз, було визначено, що метод зворотного осмосу являється найкращим рішенням для доочищення водопровідної води. Інтегральний показник мембран зворотного осмосу становить 6,9. Отже мета даної наукової роботи, а саме модернізація побутової системи зворотного осмосу, є доцільною з економічної точки зору.

ВИСНОВКИ

Проведене вивчення фізико-хімічних засад процесу домінералізації води після системи зворотного осмосу малої продуктивності дозволяє стверджувати наступне.

1. Виконано дослідження складу пермеату після ПСЗО з мембранними елементами із різними характеристиками, результати якого показали, що склад пермеату є досить сталим і мало залежить від характеристик елементів.

2. В статичних умовах проведено дослідження процесу домінералізації пермеату ЗО на різних мінералах та показано, що найефективнішими для корегування складу пермеату є мінерали Calcite та Corosex.

3. Вивчено кінетику розчинення мінералів пермеатом в інтервалі температур, характерному для сезонних коливань температури водопровідної води.

4. Вперше одержано рівняння залежності цільового ЗСВ від часу контакту води із Calcite і Corosex та температури, показано, що індивідуальне використання обох досліджуваних мінералів не дозволяє довести показники фізіологічної повноцінності води після ПСЗО до рівня вимог в усьому інтервалі температур протягом технологічно обумовленого часу.

5. Запропоновано використовувати сумісно обидва мінерали для комплексного вирішення задачі домінералізації пермеату ПСЗО.

6. Встановлено раціональні умови сумісного використання мінералів Calcite та Corosex для домінералізації пермеату ПСЗО до рівня вимог до фізіологічно повноцінної води після штучної демінералізації, а саме – час контакту води з Corosex – не більше 2 хвилин, з Calcite – не менше 5 хвилин при загальному часі контакту – не менше 7 та не більше 10 хвилин .

7. Запропоновано модифіковану технологічну схему побутової системи зворотного осмосу з двома картриджами–мінералізаторами, заповненими мінералами Calcite та Corosex у кількості 550 і 150 г, відповідно, які встановленні на лінії подачі пермеату від ЗО мембранного елементу до бака-накопичувача.

8. Проведено пілотні випробування запропонованої технології домінералізації пермеату ПСЗО та показано її високу ефективність.

9. Результати роботи використані на НПО ЕКОСОФТ при розробці та впровадженні у промисловий випуск модернізованої побутової систему зворотного осмосу з домінералізацією пермеата мінералами Calcite та Corosex .

10. Результати роботи були представлені на IV Міжнародній науково-практичній конференції «Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти».

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні [Електронний ресурс] / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: <http://old.minregion.gov.ua/attachments/content-attachments/1185.pdf>
2. Митченко Т. Украинские водные реалии в 10 фактах // Вода и водоочистные технологии. Научно-практический журнал. – 2016. - № 3(81). – С. 4-10.
3. Руденко І. Поточна ситуація щодо стану водопостачання в Україні // Вода и водоочистные технологии. Научно-практический журнал. – 2015. - № 3(77). – С. 4-7.
4. Мешкова-Клименко Н. А. Централізоване питне водопостачання: історія, сучасний стан, перспективи розвитку. Світогляд №4, 2009. – с. 66-68.
5. Митченко Т. Сегодня и завтра водоподготовки // Вода и водоочистные технологии. Научно-практический журнал. – 2015. - № 4(78). – С. 4-8.
6. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води: підруч. / А.К. Запольський – К.: Вища школа, 2005. – 671 с.
7. Фізико-хімічні методи очищення води. Курування водними ресурсами / [І. Астрелін, Є. Герасимов, А. Гіроль та ін.], 2015. – 577 с.
8. Малецкий З. В., Сусь М. А., Мудрик Р. Я. Правильная вода для дома в вопросах и ответах // Вода и водоочистные технологии. Научно-практический журнал. – 2011. – № 3(57). – С. 2-10.
9. Макаренцев В., Фрог Н. Обеспечение населения питьевой водой: новые подходы // Аква-Magazine 2008.№4(9) - С. 10-14.
10. Копитін А. М., Слободенюк І. П. Сільське питне водопостачання в Україні. Практичний посібник / Розроблено в рамках швейцарсько-українського проекту «Підтримка децентралізації в Україні», 2011. – 180 с. ISBN 978-966-97093-0-1

11. Рябчиков Б.Е. Современная водоподготовка. – М.: ДеЛи плюс, 2013. – 680 с. ISBN 978-5-905170-49-2
12. Миклашевский Н. В., Королькова С. В. Чистая вода. Системы очистки и бытовые фильтры. – СПб.: «Издательская группа «Арлит», 2000. – 240 с.
13. Водоподготовка: справочник. /Под ред. д.т.н., действительного члена Академии промышленной экологии С.Е. Беликова. М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с. ISBN 5-902561-09-4
14. Фрог Б.Н., Первов А.Г. Водоподготовка. Учеб. для вузов: - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2014. – 512 с. ISBN 978-5-93093-974-3
15. Williams M.E. A brief review of reverse osmosis membrane technology // EET Corporation and Williams Engineering Services Company, 2003. – P.40.
16. Вэс МакГоуэн Водоподготовка. Домашняя, коммерческая, промышленная. Справочное руководство: - Под ред. WQA. – 2012
17. Veera Gnaneswar Gude Desalination and sustainability – An appraisal and current perspective. Water Research 89, 2016. P. 87-106
18. ДСанПіН 2.2.4-171-10 Державні санітарні норми та правила "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною". – 2010.
19. Андрусишина И.Н. Влияние минерального состава питьевой воды на состояние здоровья населения // Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті. – 2015 – №2(17).
20. Митченко Т., Малецкий З. Обратноосмотическая вода. Безопасность и полноценность // Вода и водоочистные технологии. Научно-практический журнал. – 2015. - № 3(77). – С. 8-12.
21. Rosborn I. Drinking Water Minerals and Mineral Balance. Importance, Health Significance, Safety Precautions. Springer, 2015.
22. Kozisek F. Health risks from demineralized drinking water. National Institute of Public Health Czech Republic.

23. Cotruvo J., Bartram J., eds. Calcium and Magnesium in Drinking water: Public health significance. World Health Organization 2009
24. Пригун И.В. Коррекция солевого состава воды для пищевых производств // Пищевая промышленность. – 2006. - №4.
25. Monique H. Vingerhoeds, Mariska A. Nijenhuis-de Vries, Nienke Ruepert, Harmen van der Laan, Wender L.P. Bredie, Stefanie Kremer Sensory quality of drinking water produced by reverse osmosis membrane filtration followed by remineralization. Water Research 94, 2016. P. 42-52
26. Ерохин М.А. Минерализация опресненной воды с применением материалов, содержащих CaCO_3 . Автореферат, Москва. – 2008. – 18 с.
27. Фільтр зворотного осмосу Ecosoft 5-75 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://voda.com.ua/ua/filtr-obratnogo-osmosa-ecosoft-5-75>.
28. Орестов Е. А. 10 секретов бытового обратного осмоса [Електронний ресурс] / Евгений Александрович Орестов – Режим доступу до ресурсу: <http://waternet.ua/news/newsletter/132/>.
29. DOW FILMTEC™ TW30-1812-100HR [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.dow.com/en-us/markets-and-solutions/products/DOWFILMTECTapWaterReverseOsmosisLess4Elements/DOWFILMTECTW301812100HR>.
30. DOW FILMTEC™ BW60-1812-75 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.dow.com/en-us/markets-and-solutions/products/DOWFILMTECTapWaterReverseOsmosisLess4Elements/DOWFILMTECBW60181275>.
31. Reverse Osmosis Membrane. Canature 1812-50-NPD [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.canature-global.com/pro_detail.aspx?id=54&tpid=5&pid=5.
32. DOW FILMTEC™ TW30-3012-500 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.dow.com/en-us/markets-and-solutions/products/DOWFILMTECTapWaterReverseOsmosisLess4Elements/DOWFILMTECTW303012500>.

[solutions/products/DOWFILMTECTapWaterReverseOsmosisLess4Elements/DOWFILMTECTW303012500](https://www.dow.com/solutions/products/DOWFILMTECTapWaterReverseOsmosisLess4Elements/DOWFILMTECTW303012500).

33. Calcite [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа до ресурсу: http://www.clackcorp.com/downloads/ion_exchange_resin_and_filter_media/calcite_2386.pdf.

34. Corosex® and Corosex II [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.snowpure.com/docs/clack-corosex-media.pdf>.

35. Доломит [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://kristallov.net/dolomite.html>.

36. Физическая химия / Под ред. К.С. Краснова. – М.: Высш. шк., 1982. – 688 с.

ДОДАТОК А



ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«НАУКОВО-ВИРОБНИЧЕ ОБ'ЄДНАННЯ «ЕКОСОФТ»

Україна, 08200, м. Ірпінь, вул. Покровська, 11
Тел/факс: +38 (044) 490 34 54, 495 23 66
E-mail: company@ecosoft.ua
www.ecosoft.ua

Вих. № 13/01/17
від 13.01.2017 р.

АКТ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ

Даний Акт складений в тому, що одержані в процесі виконання дипломної роботи Давидок Анастасії Олегівни на тему «Технологія домінералізації води для побутової системи зворотного осмосу» результати та розроблені в рамках роботи технологічні рішення були застосовані при розробці інноваційної побутової системи зворотного осмосу Ecosoft AquaCalcium і дозволили забезпечити стабільну домінералізацію пермеата при тривалій експлуатації системи.

Заступник технічного директора
ТОВ «НВО «Екософт»
Рудницький В. І.



A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping loops, positioned over a horizontal line.