

[0000-0002-5937-167X] **Т. В. Солодовнік**, канд. хім. наук, доцент,

e-mail: solodovniktetana@gmail.com

[0000-0001-9469-8240] **І. К. Якименко**, аспірант

e-mail: yakimenko97@ukr.net

Черкаський державний технологічний університет

б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

ПРОБЛЕМИ ТА СПОСОБИ ДООЧИЩЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ В СИСТЕМАХ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

У представленій статті виконано огляд способів доочищення питної води в рамках міжнародного проєкту Норвезької Програми співпраці з Євразією в галузі вищої освіти «Водна гармонія-II» (СРЕАЛА-2015/10036) і наведено результати аналізу літературних джерел з метою визначення їх ефективності в системах децентралізованого водопостачання. Розглянуто проблемні питання, встановлено переваги та недоліки наявних способів постачання води, оцінено показники якості отриманої води. Проведено аналіз сучасних методів, які пропонуються для використання в комбінованих системах доочищення підземних та наземних водних ресурсів, з метою забезпечення питною водою установ, не під'єднаних до центрального водопостачання. Крім того, проаналізовано ефективність використання сорбентів і коагулянтів природного та синтетичного походження, які знайшли широке застосування в сучасних установках (фільтрах) при видаленні різноманітних забруднень. Розглянуто запатентовані сучасні переносні (мобільні) малотоннажні установки для доочищення питної води.

Ключові слова: водопостачання, підземні води, методи очищення, фільтри, сорбенти, установки.

Вступ. У системі децентралізованого (місцевого) водопостачання, яке призначене для забезпечення питною водою окремих будинків або невеликої групи будівель, можуть використовуватися різні за походженням води, зокрема атмосферні, підземні та води відкритих водойм. Найчастіше місцеве постачання води організовується за рахунок підземних вод. Вода збирається з різних водоносних горизонтів і з різної глибини, але здебільшого використовують ґрунтові води з другого і третього горизонтів, які захищені від забруднення. При децентралізованому водопостачанні додаткову обробку води, як правило, не проводять, тому що до колодязної води не можна ставити такі високі вимоги, як до води при централізованому водопостачанні. Однак водночас така вода повинна бути безпечною в санітарно-епідемічному відношенні.

На сьогоднішній день існують та впроваджуються такі види децентралізованого постачання: водопостачання з колодязів; забір води з артезіанських джерел; доставка води спецавтотранспортом до житлових масивів; розбудова мережі бюветів, високоякісна вода з глибоких, надійно ізольованих горизонтів; продаж питної води у герметичних пляшках, що наповнюються у заводських умовах [1].

Показники якості. При децентралізованому постачанні вода повинна мати високу прозорість (не меншу 30 см), кольоровість (не більшу 35 град.), запах і присмак – до 2-3 балів, загальну твердість – до 10 мг-екв/дм³, вміст нітратів – до 45 мг/дм³. Порівняно з водопровідною водою, вода з колодязів, каптажів та джерел має значно менший рівень контролю за показниками якості, але це не дає гарантію безпечності такої води. Так, відповідно до вимог ДСанПіН 2.2.4-171-10 в децентралізованих водах не визначаються такі елементи, як: цинк, алюміній, кадмій, кремній, миш'як, молібден, ртуть, свинець, нікель, селен та хром [2].

Оскільки комплексний контроль за станом підземних водних артерій практично не проводиться, то й причинам забруднення та попередженню їх виникнення не надається належної уваги. Найбільш проблемними для артезіанських вод є такі показники, як каламутність, твердість, вміст заліза і марганцю, які перевищують норми, як мінімум, в 30-40 % аналізованих проб. Так, у Черкаській області каламутність перевищує норму в 70-85 % проб, вміст марганцю – в 50-60 % проб, вміст заліза – в 14 %. Варто зазначити, що цей

показник залежить не тільки від якості вихідної води, але й від умов експлуатації свердловини. Також у Черкаській області 91 % аналізованих проб криничної води мають підвищену твердість, частка нестандартних проб за показником вмісту нітратів становить 65-70 %, високої мінералізації – 40-50 % і підвищена каламутність – в 45-55 % проб криничної води.

Аналіз даних проєкту «Карта якості води» BBO WaterNet та Національної доповіді про якість питної води і стан питного водопостачання в Україні показав, що основними проблемами децентралізованої води є підвищена каламутність, високий вміст солей жорсткості, заліза, марганцю, а також нітратів [3].

Основні чинники забруднення. Забруднюючі домішки можуть як надходити до водного об'єкта ззовні, так і утворюватися в самому водному об'єкті. Найчастіше причинами забруднення підземної води стають:

- обробка полів пестицидами та нітратами, що здатні просочуватись крізь землю, та які з часом накопичуються в продуктах харчування;

- місця масового скупчення великої худоби, з великою кількістю органічних відходів, де вода може насититись бактеріальними та вірусними інфекціями, від чого буде різкий неприємний запах та смак;

- місця накопичення сміття, в яких через ґрунт просочуються усі можливі шкідливі речовини. Зазвичай це бактеріальні та вірусні інфекції, хімічні залишки й інші складні речовини;

- забруднення через прориви каналізації.

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є аналіз основних джерел забруднення децентралізованих вод і наукове обґрунтування застосування сучасних технологій та матеріалів для безпечного й ефективного їх використання при створенні мобільних установок очищення та доочищення води відповідно до санітарно-епідеміологічних норм.

Для реалізації цієї мети були поставлені такі задачі:

- визначити переваги та недоліки застосування децентралізованого водопостачання;
- встановити основні параметри забруднень природних/децентралізованих вод;
- розглянути методи, технології, а також матеріали для проведення очищення/доочищення природних вод;

- встановити принципи роботи та переваги застосування мобільних установок для очищення ґрунтових вод;

- надати рекомендації для впровадження сучасних технологій та матеріалів при створенні мобільних установок;

- запропонувати ефективні процеси та матеріали для створення удосконаленої моделі очищувальної установки переносного типу.

Виклад основного матеріалу. Методи очищення. Більшість людей думають, що вода зі свердловин має дуже високу якість і не вимагає додаткового очищення, але, на жаль, це не завжди так. Для безпечного і впевненого використання води зі свердловин її треба очистити від механічних домішок, освітлити, а далі пом'якшити, зменшити вміст розчинених солей, заліза, хлору, аміаку, газів до рівня норм фізіологічної потреби організму людини.

Головними забруднювачами води є мінеральні й органічні сполуки, а також мікроорганізми, середовищем перебування яких є вода (бактерії, гриби, водорості та найпростіші). Різноманіття домішок зумовлює використання різних методів очищення відповідно до типу забрудників. Відповідно до фактора розділення використовують такі методи, як: осадження, фільтрування, флотація, коагуляція, адсорбція, іонний обмін, мембранні процеси та окисні методи, а також їх комбінації.

Так, наприклад, дослідниками [4] розроблено систему для збирання й очищення дощової води як децентралізованого водопостачання для окремого будинку. Ця система обробки води включає стадії аерації, фільтрації піском, адсорбції гранульованим активованим вугіллям (GAS) та дезінфекції ультрафільтрацією (УФ). Параметри отриманої води відповідають австралійським стандартам та характеризуються вищими показниками якості, ніж води муніципального водопостачання. За рахунок оснащення сонячними панелями процес повністю автоматизований і не потребує додаткового джерела енергії, також ця технічна розробка вимагає мінімального обслуговування, а отримані результати свідчать про перспективність її застосування.

Авторами [5] сформовано принцип побудови та концепцію адаптивної системи очищення води, де вперше запропоновано використання блока гідродинамічної обробки, що включає нагрів води, підконтур розчинення речовин та закаламучування, підконтур із

можливістю корекції рН та одночасного синтезу дезінфектантів. Ця технологія найбільш ефективно може використовуватися в системах замкненого водопостачання невеликих житлових комплексів, закладів освіти, дитячих садків, медичних закладів та окремих адміністративних будинків, які вимагають більш високих та гарантованих вимог до якості питної води в умовах наявності неспецифічних забруднювачів, небезпечних біологічних агентів і збудників інфекційних хвороб.

В роботі [6] акцентовано увагу на тому, що недорогі біопіщані фільтри (BSF) здатні забезпечити децентралізоване очищення води за незвичайних обставин, особливо під час пандемії. Однак вони утворюють непостійні швидкості потоку та мають меншу ефективність видалення кишкової палички та помутніння впродовж перших чотирьох тижнів використання. Тому підвищення рівня фільтрації, видалення мікробів та помутніння стало новим аспектом цієї галузі дослідження. У зв'язку з цим проведено спостереження впродовж трьох місяців для оцінювання ефективності модифікованого біопіщаного фільтра (MBSF) в напрямі дослідження швидкості потоку під час усунення помутніння та патогенів, які передаються через воду (*E. coli*, *Cryptosporidium parvum* та *Giardia lamblia*). Модифікацію фільтра проводили додаванням п'яти сантиметрових глинистих гранул, які заповнені сріблом, і включенням дифузійного диска між шарами піску. Результати показали помітну різницю між двома фільтрами щодо видалення помутніння; коливаючись між (51–92 %) та (98,6–98,8 %) для BSF та MBSF відповідно. Додавання дифузійного диска між шарами привело до збільшення швидкості потоку з 18,2 дм³/год. до 38,7 дм³/год. (таблиця 1).

Таблиця 1 – Підвищення швидкості фільтрації в ході дослідження [6]

Час (тижнів)	BSF (л/год.)	MBSF (л/год.)	(%) підвищення швидкості фільтрації
W1	14	39,9	64,9
W3	12,8	39,4	67,5
W5	10,3	39	73,59
W7	9	38,8	76,80
W9	7,6	38,7	80,36
W12	2,2	38,7	94,31

Також MBSF продемонстрував вищу ефективність видалення *E. coli* (99,8 %), *S. parvum* (100 %) та *G. lamblia* (100 %). Отриманий модифікований біопіщаний фільтр може ефективно використовуватись і стати оптимальним варіантом для децентралізованого очищення питної води.

Комбіновані способи та технології.

Оскільки найбільш якісну воду, з погляду її чистоти, отримують комбінованими способами, вітчизняними вченими запропоновано удосконалення способів обробки водних ресурсів із одночасним використанням різних методів, наприклад, зворотного осмосу з наступною фільтрацією через сорбент на основі іонообмінних смол [7], поєднання процесу фільтрації та іонізації [8], а також використання низки методик у вигляді установки, що складається з модулів зворотного осмосу, вугільного фільтра та рН-корекції [9].

Останнім часом вчені різних країн приділяють особливу увагу УФ-знезараженню води, вдосконалюючи технологію та технологічне обладнання для вирішення комплексних задач, а саме: знезараження води при значному бактеріальному забрудненні; видалення органічних та неорганічних речовин; поліпшення органолептичних показників якості питної води; очищення підземних вод від підвищених концентрацій заліза та марганцю, а також видалення сірководню [10].

В роботі [11] пропонується використання УФ-випромінювання в комбінації з електрохімічним анодним утворенням Cl₂ (E-UV/Cl₂) з вихідної води для боротьби з мікробабудуваннями в системах децентралізованого водопостачання. Встановлено, що при типових концентраціях Cl⁻, наявних у джерелах води децентралізованих систем (30–300 мг/дм³ Cl⁻), на аноді можна швидко отримати достатню кількість хлору, щоб забезпечити процес очищення води. Проведення E-UV/Cl₂ для поверхневої води з додаванням мікробабудувачів (триметоприм, ципрофлоксацин, метопролол і карбамазепін) дає можливість ефективно усунути їх впродовж 5 хв. Застосування цієї методики виключає необхідність транспортування або спеціального підведення рідкого хлору, що є перспективною технологією зниження мікробабудувачів у системах місцевого водоочищення.

Авторами [12] проведено дослідження впливу попередньої обробки води ультразвуком-озонуванням (US/O₃) у поєднанні з коа-

гуляцією (коагулянти: алюміній сульфат, ферум хлорид та поліалюміній хлорид) на природну органічну речовину (NOM) та ефективність усунення мутності з поверхневих вод. При поєднанні цих типів очищення спостерігається збільшення ефективності видалення NOM, загального органічного вуглецю (TOC) та зменшення мутності. Встановлено, що одночасне використання коагуляції, ультразвуку та обробки озоном перетворює макромолекули NOM на менш токсичні органічні сполуки. Доказом цього є дослідження очищених зразків води на вміст коліформної та кишкової паличок. У зв'язку з цим цей метод може розглядатися як ефективний спосіб для очищення децентралізованих водних ресурсів.

Дослідниками [13] вивчався взаємозв'язок між коагуляційно-флокуляційними процесами та стерилізацією на прикладі модельних вод, що містять каолін та кишкову паличку. Як реагенти використовувалися хлорид поліалюмінію (PAC) та хлорид полідіметилдіалліламмоній (PDMDAAC). Встановлено, що два флокулянти беруть участь у різних механізмах очищення: PAC відповідає за коагуляцію і нейтралізацію заряду, а PDMDAAC сприяє утворенню великих пластівців, що більше підсилює його контакт з E. coli та сприяє стерилізації. В процесі експериментального дослідження комбіновані флокулянти показали коефіцієнт видалення бактерій близько 90 %. Таким чином, стерилізацію флокулянтами можливо застосовувати при очищенні децентралізованих вод для питних потреб.

Авторами [14] розглядається процес видалення металів, а саме Cd, Pb, Ni, Cr, Cu та Co поєднанням методів окиснення, коагуляції та адсорбції при оптимізованому рН, що також є ефективним для одночасного видалення As, Fe та Mn з підземних вод. Як речовини для оптимізації рН, окиснювання та коагуляції використовували NaHCO_3 , KMnO_4 та FeCl_3 відповідно. При обробці отриманих результатів дослідження науковці встановили, що видалення металів з початковою концентрацією 2 мг/дм^3 цим методом збільшується в такому порядку: $\text{Cd} (79,0 \%) < \text{Co} (94,8 \%) < \text{Ni} (94,4 \%) < \text{Cu} (98,0 \%) < \text{Cr} (98,3 \%) < \text{Pb} (99,5 \%)$.

Останнім часом електрокоагуляція (ЕК) набуває перспективного використання як метод очищення забрудненої води. З огляду на це, в роботі [15] пропонується використання ЕК з електродами з нержавіючої сталі для

видалення миш'яку ($\text{As}(\text{V})$) з водних розчинів. Дослідниками визначено оптимальні умови, результатом впровадження яких є усунення 92 % $\text{As}(\text{V})$ з розчину концентрацією $0,1 \text{ мг/дм}^3$. Дослідження економічних аспектів системи безперервного потоку води, яка використовує сонячну панель на 12 В, вказує на можливість ефективного очищення забрудненої води зі швидкістю $12 \text{ дм}^3/\text{год}$. Після чотирьох годин безперервного випробування ефективність системи для видалення $\text{As}(\text{V})$ залишалася практично незмінною, а саме становила близько 91 %. У пілотному польовому дослідженні із забрудненими підземними водами (загальна кількість $\text{As} = 0,03 \text{ мг/дм}^3$) у провінції Ханам (В'єтнам) використання системи ЕК із застосуванням сонячної енергії (12 В) дає змогу знизити концентрацію As до рівня, який відповідає вимогам згідно зі стандартами до питної води, які затверджені ВООЗ та діють на території В'єтнаму.

Авторами [16] досліджено застосування електрокоагуляції (ЕК) як автономної технології у поєднанні з фільтрацією в середовищі окисника для виведення миш'яку та марганцю з підземних вод. Встановлено, що механізм видалення миш'яку був пов'язаний з утворенням пластівців залізного коагулянта, а видалення марганцю – з каталітичною окисно-відновною реакцією у середовищі діоксиду марганцю. Застосування цієї технології показує зменшення концентрації миш'яку до $4,4 \text{ мкг/дм}^3$, що є на порядок ефективнішим, ніж ті, що досягнуті при звичайній ЕК, і, зважаючи на це, ця розробка має перспективи для застосування при очищенні підземних вод.

Дослідниками [17] розроблено систему водоочищення, що поєднує в собі ультрафільтрацію, дезінфекцію та генерування електрохімічно-активованих розчинів, які виконують роль управління біоплівками в системі. Встановлено, що ця система очищує біологічно забруднену воду, але потребує додаткового очищення для питних потреб.

В роботі [18] подано результати випробування мембранної системи з гравітаційним приводом (GDM) і з вбудованим гранульованим активованим вугіллем (GAC). Порівнювалися характеристики ультрафільтраційних мембран з полівініліденфториду (ПВДФ) ($0,45 \text{ м}^2$) в поєднанні з двома різними GAC (Epibon A та Hydrffin CC). Результатом цієї роботи є підвищення ефективності затримки бактерій (*Enterococcus faecalis*), різних домі-

шок (1–200 мкм) та якості пермеату щодо розчиненого органічного вуглецю, що свідчить про перспективу застосування цієї системи для децентралізованого очищення.

Вченими [19] розроблено деревні мембрани як альтернатива для традиційних полімерних та керамічних. Встановлено, що розміри пор деревини відповідають середньому розміру пор мікрофільтраційної мембрани. Досліджений процес показав високу ефективність очищення води від гідроксидів Fe(III) при фільтруванні крізь зовнішню поверхню мікрофільтраційної трубчастої деревної мембрани, що обумовлено стеричним механізмом її дії та формуванням на її поверхні додаткового затримувального шару у вигляді динамічної мембрани із гідроксидів Fe(III) . Також досліджено вплив різних фізико-хімічних факторів на затримувальну здатність мембрани та визначено її технологічні параметри. Встановлено, що додавання до розчину з вмістом гідроксидів Fe(III) суміші іонів Cl^- , HCO_3^- і SO_4^{2-} (по 200 мг/дм³ кожного) практично не впливало на роздільні властивості мембрани. Однак автори зауважили, що у разі фільтрування розчину крізь внутрішню поверхню питома продуктивність мембрани різко зростає, проте зменшується її затримувальна здатність, що обмежує використання цієї мембрани на практиці.

В роботі [20] наводяться закономірності процесу очищення дніпровської води баромембранним методом від органічних сполук, що містяться в ній, керамічною мембраною, яка модифікована різними речовинами: гідроксидними Fe(III) і Al(III) , кукурудзяним крохмалем і монтморилонітом. Модифікування відбувалося завдяки формуванню на її поверхні динамічної мембрани з вищезазначених речовин. Авторами встановлено, що для очищення від органічних речовин до норм їх ГДК у питній воді доцільно використовувати керамічну мембрану з глинистих мінералів, яка модифікована в динамічному режимі гідроксидними ферулами.

Авторами [21] проведено дослідження з видалення пестицидів на водоочисних спорудах, що включають процес озонування, шар біологічно активованого вугілля й ультрафільтрацію. Аналіз отриманих даних показав, що при використанні традиційних та удосконалених процесів обробки рівень пестицидів може бути зменшено більш ніж на 60 %.

Проблема забруднення поверхневих вод марганцем привертає більше уваги у сфері питного водопостачання, особливо при застосуванні мембранної фільтрації. Так, дослідниками [22] розроблено інноваційний гравітаційно-керований мембранний процес (GDM), що поєднує додаткові ефекти, які виникають між біологічним прошарком та ультрафільтраційною мембраною (UF), з метою очищення поверхневих вод, що містять залізо та марганець. Встановлено, що залізо та марганець були вилучені до концентрацій менше 0,05 мг/дм³ у мембранному пермеаті. Крім того, спостерігається незначний вплив присутності заліза та марганцю на стабілізацію потоку та ефективність видалення органічних забруднень. Враховуючи названі ефекти, процес GDM можна вважати економічно вигідною стратегією для децентралізованого водопостачання, особливо при обробці поверхневих вод, що містять залізо та марганець.

Одним із напрямів очищення води при децентралізованому постачанні, тобто без доступу до водоочисної станції, є застосування фільтрів. Фільтри, або ж змінні картриджі, мають широке застосування в побуті, приваблюють дешевизною, мобільністю, сучасним дизайном і простотою експлуатації. Однак ефективність очищення води з їх допомогою не завжди відповідає обіцянкам виробників і очікуванням користувачів. Порівняльне оцінювання картриджів для побутових фільтрів різних виробників показує, що, незважаючи на практично ідентичний склад фільтруючих сумішей у різних картриджах, ефективність їх дії в процесі очищення води істотно різниться. Основним фактором, що впливає на ступінь очищення води від хлору, органічних домішок та іонів жорсткості, є час контакту води з фільтруючим завантаженням. Варіюючи величини об'єму завантаження і швидкості пропускання води, можна досягти істотного збільшення ефективності роботи побутових картриджів для доочищення [23]. З огляду на це, перспективним напрямом є розробка та удосконалення фільтрів побутового призначення з метою збільшення тривалості їх роботи, ефективності та селективності очищення.

Авторами [24] проведено випробування комерційних фільтрів (прядильні, намотані та плісировані) з різною пористістю для усунення мутності у модельних розчинах (40 ± 10 NTU). Для регенерації фільтрів з метою збільшення терміну використання засто-

совували низку промивань. Встановлено, що багатобар'єрний підхід до систем фільтрації приводить до послідовного й ефективного зменшення мутності, що, в свою чергу, сприяє підвищенню ефективності подальшого процесу УФ-дезінфекції.

Вченими [25] досліджено динамічний гравійний фільтр (GDF) як попередню обробку перед використанням побутових повільних фільтрів з піском (HSSF), що є першим етапом багатоступеневого фільтраційного очищення питної води. Побутовий піщаний повільний фільтр (HMSF), що містить GDF з нетканою ковдрою, поданий як приклад концепції багатобар'єрності, в якому існує більше одного етапу очищення з поступовим видаленням частинок та мікроорганізмів.

В роботі [26] проведено оцінювання ефективності поглинання та експлуатаційних витрат для видалення Se (IV) за допомогою коагуляції/осадження солями заліза й адсорбцією на гранулах оксигідроксидів заліза. Дослідження показало, що адсорбція є більш ефективною для очищення вод з концентрацією селену понад 50 мгл/дм³ за рахунок можливості регенерації адсорбентів для повторного використання.

Проводились дослідження процесу видалення As (V) з води за допомогою керамічних фільтрів, модифікованих нанокompatитами CeO₂ (CF-CeO₂), під час яких було визначено оптимальні умови, за яких фільтри демонструють здатність до видалення миш'яку, та розглянуто механізми їх дії. Доведено, що CF-CeO₂ фільтри є високоефективними, дешевими та безпечними для застосування у водоочисних системах [27].

Дослідниками [28] проаналізовано ефективність багатопіщаних фільтрів, які включають відсортовані шари піску та підтримуючі шари з гравієм, з додаванням нових прошарків з частинок міді та цинку, які традиційно називаються KDF (Kinetic Degradation Fluxion). Результати лабораторного дослідження показали високу ефективність цих фільтрів при видаленні хлору (на більш ніж 90 %) і значне зменшення концентрації важких металів, що має перспективи застосування на очисних спорудах із зворотним осмосом та іонообмінними смолами. Крім того, доведено, що використання шару KDF у традиційних фільтрах допомагає зменшити вартість та подовжити термін експлуатації фільтрів.

Авторами [29] представлено новий тип фільтруючого картриджа, який спрямований на подолання втрати напору, спричиненого в умовах засмічення. Цей картридж виготовлений з центрального елемента в інертній бавовні, обмотаного циліндричною поліпропіленовою опорою та із серцевиною, що захищена такими елементами, як біла мармурова галька, ефективні керамічні циліндри та гранульоване активоване вугілля. Ці захисні елементи забезпечують ефективну гідравлічну проникність та здатні зупинити більші за розмірами частинки, які засмічують картридж. Таким чином, запропонована конструкція картриджа дає змогу значно зменшити, порівняно з комерційними, середні втрати напору навіть при високих ступенях засмічення і, як наслідок, збільшити життєвий цикл картриджів.

В роботі [30] запропоновано схему знезалізнення підземних вод за допомогою сорбенту-катализатора на основі магнетиту та іонообмінної смоли. Установка включає механічний фільтр з плаваючим завантаженням та фільтр комплексної дії, який забезпечує вилучення сполук заліза шляхом сорбції, окиснення й іонного обміну. Встановлено, що ефективність окиснення іонів заліза залежить від швидкості фільтрування та утворення каталітичної плівки на поверхні сорбенту під час роботи фільтра.

Авторами [31] розглянуто нормування хімічних показників якості води, а саме концентрацій натрію, кальцію, магнію, калію на виході з фільтрів та запропоновано алгоритм формування оптимальної структури модуля іонообмінних фільтрів і структуру системи керування, що реалізує цей алгоритм та дасть можливість підвищити ефективність стадії тонкого очищення.

Сорбенти та коагулянти. Проблема забруднення природного середовища останнім часом є актуальною в усьому світі. Стрімкий розвиток промисловості, збільшення кількості автомобілів та використання води у сільському господарстві призводять до підвищеного забруднення. Наявність заліза, солей жорсткості та інших домішок у воді сприяє розвитку різних захворювань у людини, появі корозії та розвитку шкідливих мікроорганізмів. Внаслідок цього виникає необхідність доочищення води. Найбільш популярним способом, як вже зазначалося, є використання побутових фільтрів, які базуються на процесі сорбції, тобто на поглинанні розчинених домішок та газів роз-

винутою поверхнею сорбентів. Сорбенти розрізняються як за природою утворення, так і за принципом використання. Наразі актуальним питанням є розробка екологічно безпечних, дешевих та ефективних сорбентів.

Науковцями [32] досліджено використання гранульованого доменного шлаку, який є побічним продуктом важкої промисловості, для очищення питної води методом фільтрації.

Доведено, що фільтр із залізним шлаком, який підтримується гравійним шаром, є ефективним для очищення від твердих речовин, зважених частинок, сульфатів, нітратів, хлоридів, заліза, а також сприяє зменшенню кольоровості водних розчинів при різних умовах процесу. В роботі розглянуто та проаналізовано механізми видалення цих забруднень (таблиця 2).

Таблиця 2 – Концентрації на вході та виході з різною швидкістю фільтрації [32]

Показники	$0,32 \text{ m}^3 \text{ hr}^{-1} \text{ m}^{-2}$		$0,64 \text{ m}^3 \text{ hr}^{-1} \text{ m}^{-2}$	
	Концентрація на вході	Концентрація на виході	Концентрація на вході	Концентрація на виході
Мутність (NTU)	28,26	0	36,76	0,03
Загальна кількість зважених речовин (mg/L)	128,85	0	167,62	0,11
Загальна кількість розчинених твердих речовин (mg/L)	766,09	783,93	849,48	878,70
Кольоровість (PCU)	177,05	0	268,75	0
Твердість (mg/L)	579,79	378,06	629,06	457,58
Сульфати (mg/L)	367,72	65,32	415,87	112,68
Нітрати (mg/L)	120,52	33,97	155,81	21,13
Залізо (mg/L)	1,49	0,09	1,85	0,09
Хлориди (mg/L)	355,67	255,11	402,49	289,99
pH	7,64	7,61	7,27	7,53
ЕС ($\mu\text{S/cm}$)	1235,64	1264,41	1370,13	1417,25

В роботі [33] висвітлюються результати дослідження змішаного адсорбенту, який складається з оксидів металів (Al/Fe/Ca) для ефективного очищення питної води від фтору. Процес адсорбції оптимізований, враховуючи різні параметри, такі як: початкова концентрація фтору, доза адсорбенту, pH та час контакту. Авторами доведено, що сорбент має мінімальну втрату адсорбційної здатності після п'ятої повторної регенерації. Ефективність синтезованого адсорбенту перевіряли на прикладі підземних вод (6 mg/dm^3 фтору), зібраних з району Нагур (Раджастан, Індія). Встановлено, що синтетичний адсорбент може ефективно видаляти фтор до 88 % (доза адсорбенту – $1,5 \text{ mg/dm}^3$).

Авторами [34] вивчалися переваги іншого синтетичного адсорбенту – непрожареного гідроксиапатиту (НАР) для видалення фтору. Розглянуто процеси синтезу сорбенту залежно від умов і механізмів адсорбції та розраховано параметри, які можуть бути використані для проектування системи з НАР у зонах зі значним забрудненням фтором.

В роботі [35] наведено результати досліджень з очищення води від сполук марганцю із застосуванням катіоніту КУ-2-8, модифікованого перманганатом калію та магнетитом.

Встановлено, що застосування катіоніту, модифікованого магнетитом, при додатковому керуванні значно прискорює процес очищення води від сполук марганцю, про що свідчить досягнуте повне вилучення в динамічних умовах за початкової концентрації марганцю (II) 5 mg/dm^3 .

Українськими вченими проведено дослідження та модифікацію природних адсорбентів на основі глинистого матеріалу [36] та синтетичних неорганічних [37-38] для видалення іонів амонію та важких металів [36-38].

Одним із найбільш поширених адсорбентів, що застосовують у всьому світі, є активоване вугілля, однак виробництво цього сорбенту потребує великої кількості природної сировини. З огляду на це, авторами [39] розроблено та протестовано установку для електрохімічної регенерації відпрацьованого активованого вугілля після використання на водоочисних спорудах, яка показала ефективність відновлення на 95–99 %, що вказує на доцільність застосування цього методу з меншими

економічними затратами, більшою стійкістю процесу та меншим впливом на навколишнє середовище.

Окрім адсорбційних методів очищення, набирає популярність коагуляційно-флокуляційний метод очищення води з використанням екологічно безпечних реагентів. Авторами [40] проведено дослідження впливу ефективності видалення мутності при використанні рослинних коагулянтів *Moringa stenopetala* (Baker f.) Cufod та *Maerua subcordata* (Gilg.) DeWolf за допомогою сольових розчинів NaCl, NH₄Cl та KNO₃ різних концентрацій. Встановлено, що зі збільшенням часу контакту реагентів ступінь очищення може досягати 95 % для сильно каламутної води, а тому має перспективу застосування в широкомасштабних технологіях очищення води.

В роботі [41] представлено дослідження високошвидкісного видалення миш'яку (As (V)) із забруднених водних об'єктів при одночасній дії політитуану хлориду (PTC) та нанокмполімеру Fe₂O₃-Mn₂O₃ у посиленому процесі коагуляції разом із рециркуляцією флокулів. Науковцями визначено ефективні параметри, при яких ступінь видалення As (V) становить 99,96 %, залишкова мутність – 4 NTU, а залишкова концентрація As (V) – менше 0,1 мкг/дм³.

Дослідниками [42] представлено гібридний полімер, отриманий укладанням оксидів відходів знезалізнення води (Fe та Mn) в матрицю хітозану. Цей полімер оцінювали як сорбент для видалення As (III) та (V) і визначали його адсорбційну здатність у нейтральному та кислому середовищі. Зменшення адсорбційної здатності сорбенту після регенерації за допомогою розчину NaOH впродовж шести циклів не спостерігалось, що свідчить про довготривалу дію сорбенту та можливість

проведення безперервної роботи в системі нерухомого шару без його засмічення.

Вченими [43] синтезовано та досліджено одноланцюгову поверхнево-активну речовину (ПАР) на основі амінокислот для використання в іонній флоатації при видаленні низьких рівнів іонних забруднень. Речовина характеризується значним утворенням піни й ефективна при видаленні таких елементів, як: стронцій, лантан, миш'як та деякі важкі метали при одно-ступеневому фізико-хімічному процесі. Важливим фактором отриманої ПАР є її здатність розкладатися на цистеїн та октанову кислоту, що свідчить про її екологічну безпеку (таблиця 3).

Українськими вченими запропоновано методи розробки реагентів на основі поліакриламиду та титану з метою підвищення їх ефективності [44-45] при використанні в коагуляційно-флокуляційних процесах водоочищення.

У статті [46] розглядаються особливості утворення канцерогенних домішок при підготовці екологічно чистої питної води. Автором цієї статті встановлено, що з підвищенням температури води, яка освітлюється, спостерігається збільшення летких галогеномісних сполук (ЛГС), що пов'язано з впливом температури води на кінетику швидкості реакції хлору з органічними речовинами, які знаходяться у вихідній воді. Доведено, що обробка води активованим розчином коагулянту сульфату алюмінію дає змогу збільшити адсорбційну ємність гідроксиду алюмінію, що сприяє інтенсифікації очищення води, тобто повніше використовується адсорбційна ємність коагуляційних структур. Проведені дослідження дають можливість рекомендувати цю технологію для зниження техногенно-екологічної безпеки питної води.

Таблиця 3 – Порівняння швидкості видалення, що спостерігається у суміші іонів кадмію, хрому, міді, свинцю, лантану, магнію та заліза (спочатку кожен по 5 мг/л), використовуючи процес флоатації іонів з поверхнево-активною речовиною N-октаноил-цис. Початкова концентрація поверхнево-активної речовини становила 0,01 М, а розчин підтримували при pH = 8 [43]

Mix Ions	C (mg/L) після 30 хв	Видалення (%) після 30 хв	C (mg/L) після 60 хв	Видалення (%) після 60 хв
Cd	4,4	12,0	2,8	43,8
Cr	3,57	28,6	1,07	78,5
Cu	1,53	69,4	0,82	83,6
Pb	4,76	4,8	3,72	25,6
La	4,5	10,0	3,2	34,6
Mg	4,8	4,0	4,2	16,3
Fe	4,98	0,4	4,7	6,3

Мобільні установки. У місцях, віддалених від великотоннажних систем водоочищення, з автоматичним контролем якості, основним джерелом водних ресурсів є підземні (колодязі, каптажі) та поверхневі води. У зв'язку з цим проводяться дослідження, спрямовані на розробку портативних установок доочищення в польових умовах, тобто без постійного доступу до лабораторії чи вимірвальних приладів.

В патентах [47-49] автором розроблено низку пристроїв для отримання питної води, які складаються із з'єднаних послідовно блоків з різними методами очищення. В патенті [47] описано пристрій, який складається із таких блоків: блок із зворотно-осмотичною мембраною; блок кондиціонування рН; блок мінералізації. В патенті [48] представлено пристрій з п'яти блоків: карбон-блок; блок з активованим вугіллем; блок зі спіненим поліпропіленом; блок із зворотно-осмотичною мембраною; блок із засипкою активованого вугілля, а в патенті [49] наведено опис установки з трьох блоків: карбон-блок; блок з активованим вугіллем; блок кондиціонування води.

Дослідниками в патентах [50-52] запропоновано серію удосконалень пристроїв для підготовки води, переважно питної, методом комплексного багатоступеневого очищення в модулі.

Авторами [53] пропонується удосконалення водоочисного пристрою електричним та магнітним полем, який може використовуватися в процесах очищення технічної води, а також попереднього очищення питної води, що дає змогу розширити функціональні можливості, знизити енергозатрати, підвищити ефективність та надійність роботи пристрою.

Вченими [54] представлено переносний пристрій для очищення води, що базується на фільтруючих елементах, які виконані з фетру та цеоліту, а посріблена сітка є додатковим гарантом обеззараження води.

Для малих об'ємів води авторами [55-57] розроблено портативні установки очищення води з природних джерел, які базуються на методі фільтрації.

Дослідниками [58] описано розробку трьох переносних засобів з дезінфекції води, що базуються на контрольованому виділенні хлору у вигляді одноразової мішалки, багаторазової ручки та багаторазової палички. Встановлено, що всі три моделі зменшують

бактеріальне та вірусне забруднення і можуть вважатися високоефективними відповідно до класифікації побутових технологій очищення води ВООЗ. Технологія, на якій ґрунтується робота всіх трьох засобів, є доступною та дешевою і може принести користь великій кількості населення, яке використовує небезпечні джерела питної води.

Результати. Враховуючи, що застосування децентралізованих вод в основному відбувається на приватних ділянках, а також у сільській та віддаленій від міст місцевості, використання мембранних і великотоннажних систем очищення вод не вважається раціональним, тому з наведеного аналізу методів і технологій найбільш ефективними можна вважати застосування мобільних установок з використанням таких методів очищення, як фільтрація, сорбція та дезінфекція.

Серед фільтраційних методів найбільш поширеним є застосування багатобар'єрного підходу, тобто використання більше одного фільтрувального шару з різними матеріалами, кожен з яких відповідає за очищення від певного типу забруднення.

Сорбційні методи характеризуються наявністю широкого різновиду матеріалів – сорбентів (адсорбенти, коагулянти, флокулянти), що мають як селективну так і загальну дію. Найбільш популярним є використання активованого вугілля та іонообмінних смол, хоча модифіковані сорбенти та природні коагулянти також мають перспективи у застосуванні.

Зважаючи на недоліки застосування хлорування як способу дезінфекції, більш безпечними способами є застосування ультрафіолетового опромінення та озонування, які не завжди зручні для використання в мобільних установках, тому їх можна замінити багатобар'єрним фільтром або коагулянтами.

Обговорення результатів. Проведений аналіз сучасних літературних джерел показує зацікавленість вчених та дослідників усього світу у забезпеченні якісною питною водою населення, яке отримує питну воду з природних джерел, зокрема таких, як прісні ґрунтові води. В зв'язку з цим виникає необхідність у проведенні додаткового очищення, яке доцільно та зручно проводити на установках мобільного типу. Основними процесами, які можуть бути застосовані в таких установках, можуть бути фільтрування, сорбція та дезінфекція з використанням екологічно безпеч-

них та ефективних сорбентів. Кількість процесів та вибір матеріалів може залежати від якісного та кількісного аналізу місцевих вод. Найбільш перспективним і науково обґрунтованим є напрям, який спрямований на використання в установках очищення децентралізованих вод природних, синтетичних та комбінованих сорбентів, які після очищення води можуть бути перероблені та знайти сфери повторного ефективного використання.

Висновки. Таким чином, в результаті аналізу сучасних тенденцій у сфері водоочищення та водопостачання встановлено, що:

- децентралізоване водопостачання як спосіб отримання води з природних джерел для забезпечення питних потреб населення має відповідати певним умовам щодо відповідності санітарно-епідеміологічним нормам;

- методи очищення природних вод для питних потреб удосконалюються в напрямі підвищення їх ефективності, спрощення у виконанні, пошуку більш дешевих та безпечних реагентів, а також розробки нових реагентів (або сумішей) для комплексного та глибокого очищення;

Також доведено, що:

- одним із найбільш поширених способів доочищення води в децентралізованому постачанні вважається адсорбція з використанням екологічно безпечних та ефективних сорбентів, як, наприклад, з рослинних матеріалів, біовугілля, а також модифікація вже відомих сорбентів з можливістю їх регенерації для повторного використання.

- сучасні науковці й дослідники для знезараження та дезінфекції пропонують використовувати УФ-опромінення та озонування, що сприяє зменшенню кількості утворення побічних токсичних продуктів, на відміну від використання хлорування, а також не потребують значної кількості реагентів.

- активно досліджується використання коагуляційних процесів для зменшення концентрацій шкідливих елементів і дезінфекції.

Звертаючи увагу на те, що не в усіх населених пунктах є можливість для будови й обслуговування водоочисних станцій, актуальним є питання доочищення питної води, яка надходить децентралізовано до споживача. На нашу думку, для вирішення цієї проблеми практичним та перспективним напрямом досліджень і подальших розробок є вдосконалення наявних або створення нових, більш сучасних, ефективних, мобільних

установок отримання питної води, придатної для безпечного споживання.

Роботу виконано в рамках міжнародного проєкту Норвезької Програми співпраці з Євразією в галузі вищої освіти «Водна гармонія-II» (СРЕАІА-2015/10036).

Список використаних джерел

- [1] В. М. Ладиженський, Т. В. Дмитренко, та А. В. Іщенко (уклад.), *Прикладна гідро-екологія: конспект лекцій* / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. Харків: ХНАМГ, 2011.
- [2] Державні санітарні норми та правила *Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною (ДСан-ПіН 2.2.4-171-10)*, із змінами і доповненнями.
- [3] Є. Д. Дрікер, "Карта якості води України – Центральний регіон". Блог Ecosoft. 2020. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ecosoft.ua/ua/blog/karta-kachestva-vody-ukrainy-tsentralnyy-region/>. Дата звернення: Жовт. 20, 2020.
- [4] L. Senevirathna, S. Ramzan, and J. Morgan, "A sustainable and fully automated process to treat stored rainwater to meet drinking water quality guidelines", *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 130, pp. 190-196, Oct. 2019. doi: 10.1016/j.psep.2019.08.005.
- [5] А. П. Левчук, та В. І. Максін, "Використання адаптивного підходу до розробки системи очищення води", *Меліорація і водне господарство*, № 2, с. 126-135, 2020. doi: 10.31073/mivg202002-258.
- [6] P. Budeli, R. C. Moropeng, and M. N. B. Momba, "Improvement of biosand filtration systems using silver-impregnated clay granules", *Journal of Water Process Engineering*, vol. 41, p. 102049, 2021. doi: 10.1016/j.jwpe.2021.102049.
- [7] В. А. Васильєв, "Спосіб отримання питної води", *МПК: (2016.01) C02F 1/00 C02F 9/00, патент 104618 Україна*, № 201507560; заявл. 28.07.2015, опубл. 10.02.2016, Бюл. № 3.
- [8] В. К. Корженевський, "Установка для отримання питної води", *МПК (2016.01) C02F 1/44 (2006.01) C02F 1/463 (2006.01) B01D 65/00, патент 111440 Україна*, № 201604909, заявл. 04.05.2016, опубл. 10.11.2016, Бюл. № 21.

- [9] Т. Є. Мітченко, А. О. Мітченко, П. В. Стендер, та З. В. Малецький, "Автомат очищення та розливу питної води в тару споживача", *МПК C02F 103/04 (2006.01), патент 78210 Україна, № 201210849*; заявл. 17.09.2012, опубл. 11.03.2013, Бюл. № 5.
- [10] А. О. Семенов, "Використання УФ-опромінення в поєднанні з озонуванням для знезараження води", на *IV Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. Сучасне матеріалознавство та товарознавство: теорія, практика, освіта*, 2017, с. 33-34.
- [11] Y. Zhang, H. Wang, Y. Li., B. Wang, J. Huang, S. Deng, G. Yu, and Y. Wang, "Removal of micropollutants by an electrochemically driven UV/chlorine process for decentralized water treatment", *Water Research*, vol. 183, 2020. doi: 10.1016/j.watres.2020.116115.
- [12] P. Setareha, S. M. Khezrib, H. Hossainic, and M. Pirsaehebc, "Coupling effect of ozone/ultrasound with coagulation for improving NOM and turbidity removal from surface water", *Journal of Water Process Engineering*, vol. 37, 2020. doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101340.
- [13] S. Zhang, H. Zheng, X. Tang, C. Zhao, C. Zheng, and B. Gao, "Sterilization by flocculants in drinking water treatment", *Chemical Engineering Journal*, vol. 382, 2019. doi: 10.1016/j.cej.2019.122961.
- [14] A. J. Bora, and R. K. Dutta, "Removal of metals (Pb, Cd, Cu, Cr, Ni, and Co) from drinking water by oxidation-coagulation-absorption at optimized pH", *Journal of Water Process Engineering*, vol. 31, 2019. doi: 10.1016/j.jwpe.2019.100839.
- [15] T. T. Q. Nguyen, P. Loganathan, B. K. Dinh, T. V. Nguyen, S. Vigneswaran, and H. Hao Ngo, "Removing arsenate from water using batch and continuous-flow electrocoagulation with diverse power sources", *Journal of Water Process Engineering* vol. 41, 2021. doi: 10.1016/j.jwpe.2021.102028.
- [16] S. T. McBeath, A. Hajimalayeri, S. Y. Jasim, and M. Mohseni, "Coupled electrocoagulation and oxidative media filtration for the removal of manganese and arsenic from a raw ground water supply", *Journal of Water Process Engineering*, vol. 40, 2021. doi: 10.1016/j.jwpe.2021.101983.
- [17] G. E. Clayton, R. M. S. Thorn, and D. M. Reynolds, "Development of a novel off-grid drinking water production system integrating electrochemically activated solutions and ultrafiltration membranes", *Journal of Water Process Engineering*, vol. 30, 2017. doi: 10.1016/j.jwpe.2017.08.018.
- [18] P. Schumann, J. A. Ordycze Andrader, M. Jekelb, A. S. Ruhla, "Packing granular activated carbon into a submerged gravity-driven flat sheet membrane module for decentralized water treatment", *Journal of Water Process Engineering*, vol. 38, 2020. doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101517.
- [19] Т. Ю. Дульнева, Д. Д. Кучерук, О. С. Ієвлєва, та В. В. Гончарук, "Очищення води від гідроксисполук феруму деревною мембраною", *Доповіді Національної академії наук України*, № 12, с. 108-113, 2019. doi: 10.15407/dopovidi2019.12.108.
- [20] Т. Ю. Дульнева, Л. А. Деремешко, О. І. Баранов, Д. Д. Кучерук, та В. В. Гончарук, "Очищення природної води від органічних забруднень модифікованою мікрофільтраційною трубчастою керамічною мембраною з глинистих мінералів", *Доповіді Національної академії наук України*, № 9, с. 61-67, 2020. doi: 10.15407/dopovidi2020.09.061.
- [21] H. Dong, L. Xu, Y. Mao, Y. Wang, S. Duan, J. Lian, J. Li, J. Yu, and Z. Qiang, "Effective abatement of 29 pesticides in full-scale advanced treatment processes of drinking water: From concentration to human exposure risk", *Journal of Hazardous Materials*, vol. 403, 2020. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123986.
- [22] X. Tang, J. Wang, H. Zhang, M. Yu, Y. Guo, G. Li, and H. Liang, "Respective role of iron and manganese in direct ultrafiltration: from membrane fouling to flux improvements", *Separation and Purification Technology*, vol. 259, 2021. doi: 10.1016/j.seppur.2020.118174.
- [23] А. П. Большак, та Т. Є. Мітченко, "Оцінка ефективності доочищення питної води побутовими картриджами", на *VI Міжнар. наук.-практ. конф. Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти*, с. 73-75, 2019.
- [24] A. Afkhami, M. Marotta, D. Dixon, N. G. Ternan, L. J. Montoya-Jaramillo,

- M. Hincapie, L. Galeano, P. Fernandez-Ibanez, and P. S. M. Dunlop, "Assessment of low-cost cartridge filters for implementation in household drinking water treatment systems", *Journal of Water Process Engineering*, vol. 39, 2020. doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101710.
- [25] R. C. Medeiros, N. de M. N. Fava, B. L. S. Freitas, L. P. Sabogal-Paz, M. T. Hoffmann, J. Davis, P. Fernandez-Ibanez, and J. A. Byrne, "Drinking water treatment by multistage filtration on a household scale: Efficiency and challenges", *Water Research*, vol. 178, 2020. doi: 10.1016/j.watres.2020.115816.
- [26] K. Kalaitzidou, A. Zouboulis, and M. Mitakas, "Cost evaluation for Se(IV) removal, by applying common drinking water treatment processes: Coagulation/precipitation or adsorption", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 8, no. 5, 2020. doi: 10.1016/j.jece.2020.104209.
- [27] X. Yang, G. Huang, C. Anc, X. Chen, J. Shen, J. Yin, P. Song, Z. Xua, and Y. Li, "Removal of arsenic from water through ceramic filter modified by nano-CeO₂: A cost-effective approach for remote areas", *Science of The Total Environment*, vol. 750, 2021. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141510.
- [28] H. S. Majdia, M. Sh. Jaafar, and A. M. Abed, "Using KDF material to improve the performance of multi-layers filters in the reduction of chemical and biological pollutants in surface water treatment", *South African Journal of Chemical Engineering*, vol. 28, pp. 39-45, 2019. doi: 10.1016/j.sajce.2019.01.003.
- [29] S. Evangelista, G. Viccione, and O. Siani, "A new cost effective, long life and low resistance filter cartridge for water treatment", *Journal of Water Process Engineering*, vol. 27, pp. 1-14, 2018. doi: 10.1016/j.jwpe.2018.11.004.
- [30] М. М. Твердохліб, та М. Д. Гомеля, "Дослідження динаміки процесу очищення води від сполук заліза на каталітичному фільтрі", *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*, т. 29 (68), № 6 (2), с. 87-91, 2018. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/sntuts_2018_29\(68\)_6\(2\)_18](http://nbuv.gov.ua/UJRN/sntuts_2018_29(68)_6(2)_18).
- [31] М. В. Коржик, та Б. І. Шух, "Алгоритм формування оптимальної структури модуля фільтрів в процесі очищення питної води", *Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження*, № 1 (17), с. 128-132, 2018. doi: 10.20535/2306-1626.1.2018.143427.
- [32] M. S. Anjali, S. Shrihari, and B. M. Sunil, "Experimental studies of slag filter for drinking water treatment", *Environmental Technology & Innovation*, vol. 15, 2019. doi: 10.1016/j.eti.2019.100418.
- [33] Y. Singh Solanki, M. Agrawal, S. Gupta, P. Shukla, K. Maheshwari, and M. O. Midda, "Application of synthesized Fe/Al/Ca based adsorbent for defluoridation of drinking water and its significant parameters optimization using response surface methodology", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 7, no. 6, 2019. doi: 10.1016/j.jece.2019.103465.
- [34] S. Singha, A. Khare, and S. Chaudhari, "Enhanced fluoride removal from drinking water using non-calcined synthetic hydroxyapatite", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 8, no. 2, 2020. doi: 10.1016/j.jece.2020.103704.
- [35] М. М. Твердохліб, та М. Д. Гомеля, "Сорбційно-каталітичне очищення води від сполук марганцю", *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки: наук. журн.*, т. 30 (69), № 3, ч. 2, с. 42-46, 2019. doi: 10.32838/2663-5941/2019.3-2/08.
- [36] Г. В. Сакалова, Н. Ю. Черномаз, М. С. Мальований, та Т. М. Василінич, "Спосіб адсорбційного очищення питної води від іонів амонію", *МПК C02F 1/28 (2006.01), патент 92511 Україна, № 201400824*, заявл. 29.01.2014, опубл. 26.08.2014, Бюл. № 16.
- [37] Г. В. Сакалова, Т. М. Василінич, та М. С. Мальований, "Спосіб очищення стічних вод від іонів важких металів", *МПК C02F 1/28 (2006.01), патент 92512 Україна, № 201400830*, заявл. 29.01.2014, опубл. 26.08.2014, Бюл. № 16.

- [38] В. М. Федорова, С. О. Кобець, Л. М. Пузирна, О. О. Косоруков, та Г. М. Пшинко, "Спосіб очистки води від радіонуклідів цезію", *МПК C02F 1/28* (2006.01), *патент 98200 Україна*, № 201410248, заявл. 18.09.2014, опубл. 27.04.2015, Бюл. № 8.
- [39] B. Ferrández-Gómez, R. Ruiz-Rosas, S. Beaumont, D. Cazorla-Amorós, and E. Morallón, "Electrochemical regeneration of spent activated carbon from drinking water treatment plant at different scale reactors", *Chemosphere*, vol. 264, part 1, 2020.
doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128399.
- [40] M. Megersa, W. Gach, A. Beyene, A. Ambelu, and L. Triest, "Effect of salt solutions on coagulation performance of *Moringa stenopetala* and *Maerua subcordata* for turbid water treatment", *Separation and Purification Technology*, vol. 221, pp. 319-324, 2019.
doi: 10.1016/j.seppur.2019.04.013.
- [41] H. Eslami, A. Esmaeili, M. H. Ehrampoush, A. A. Ebrahimi, M. Taghavi, and R. Khosravi, "Simultaneous presence of polytitanium chloride $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Mn}_2\text{O}_3$ nanocomposite in the enhanced coagulation for high rate As(V) removal from contaminated water", *Journal of Water Process Engineering*, vol. 36, 2020.
doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101342.
- [42] D. Ocińska, and P. Mazur, "Highly efficient arsenic sorbent based on residual from water deironing – Sorption mechanisms and column studies", *Journal of Hazardous Materials*, vol. 382, 2020.
doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.121062.
- [43] M. Taseidifar, M. Ziaee, R. M. Pashley, and B. W. Ninham, "Ion flotation removal of a range of contaminant ions from drinking water", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 7, no. 4, 2019.
doi: 10.1016/j.jece.2019.103263.
- [44] С. С. Душкін, Г. І. Благодарна, та А. Д. Благодарний, "Спосіб приготування розчину поліакриламідного флокулянта для очищення природних і стічних вод", *МПК C02F 1/48* (2006.01) *C02F 1/463* (2006.01), *патент 106535 Україна*, № 2015 11345, заявл. 17.11.2015, опубл. 25.04.2016, Бюл. № 8.
- [45] Т. Ю. Нижник, В. І. Супрунчук, та О. Ф. Алексєєв, "Реагент для очищення природних та стічних вод коагуляцією, спосіб його одержання і спосіб очищення води із його використанням", *МПК (2015.01) C02F 1/52* (2006.01) *C01G 23/00 B01J 21/06* (2006.01), *патент 109947 Україна C2 (51)*, № 201400144, заявл. 09.01.2014, опубл. 26.10.2015, Бюл. № 20.
- [46] С. С. Душкін, "Підвищення рівня техногенно-екологічної безпеки при хлоруванні питної води", *Technogenic and Ecological Safety*, 8 (2/2020), с. 60-69.
doi: 10.5281/zenodo.4300779.
- [47] В. К. Корженевський, "Установка для отримання питної води "VITAL BLOCK ENERGY", *МПК (2017.01) C02F 1/44* (2006.01) *C02F 1/463* (2006.01) *B01D 65/00*, *патент 116350 Україна*, № 201613636, заявл. 30.12.2016, опубл. 10.05.2017, Бюл. № 9.
- [48] В. К. Корженевський, "Установка для отримання питної води "VITAL BLOCK LIGHT", *МПК (2017.01) C02F 1/44* (2006.01) *C02F 1/463* (2006.01) *B01D 65/00*, *патент 115921 Україна*, № 201613158, заявл. 22.12.2016, опубл. 25.04.2017, Бюл. № 8.
- [49] В. К. Корженевський, "Установка для отримання питної води "WITAL BLOCK PRO", *МПК (2017.01) C02F 1/44* (2006.01) *C02F 1/463* (2006.01) *B01D 65/00*, *патент 115923 Україна*, № 201613222, заявл. 23.12.2016, опубл. 25.04.2017, Бюл. № 8.
- [50] Г. С. Беліменко, та В. С. Гевод, "Пристрій для приготування води, переважно питної, "Аквілегія", *МПК (2016.01) C02F 1/18* (2006.01) *C02F 1/24* (2006.01) *C02F 1/26* (2006.01) *C02F 1/32* (2006.01) *C02F 3/00 C02F 9/14* (2006.01) *C02F 103/04* (2006.01), *патент 110630 Україна*, № 201508434, заявл. 28.08.2015, опубл. 25.10.2016, Бюл. № 20.
- [51] Г. С. Беліменко, та В. С. Гевод, "Спосіб приготування води, переважно питної", *МПК C02F 1/24* (2006.01) *C02F 1/32* (2006.01) *C02F 3/02* (2006.01) *C02F 9/02* (2006.01) *C02F 9/14* (2006.01) *C02F 103/04* (2006.01) *E03B 11/02* (2006.01) *C02F 1/72* (2006.01), *патент 121849 Україна*, № 201604445, заявл. 21.04.2016, опубл. 26.12.2017, Бюл. № 24.

- [52] Г. С. Беліменко, та В. С. Гевод, "Спосіб глибокого комплексного очищення (доочищення) води, переважно питної", *МПК C02F 1/24 (2006.01) C02F 1/32 (2006.01) C02F 3/02 (2006.01) C02F 9/02 (2006.01) C02F 9/14 (2006.01) B01D 25/02 (2006.01) C02F 1/62 (2006.01) C02F 1/66 (2006.01), патент 116157 Україна C2, № 201602814, заявл. 21.03.2016, опубл. 12.02.2018, Бюл. № 3.*
- [53] М. М. Крупа, О. А. Дейна, Н. О. Коваленко, Ю. Б. Скірта, та І. В. Шарай, "Пристрій для очищення води", *МПК: C02F 1/48 (2006.01) C02F 5/02 (2006.01), патент 114105 Україна C2, № 201412966, заявл. 03.12.2014, опубл. 25.04.2017, Бюл. № 8.*
- [54] А. П. Кириєнко, П. Г. Кириєнко, О. А. Сідаченко, та О. Є. Ковнацький, "Переносний пристрій для очищення води", *МПК B01D 35/26 (2006.01) B01D 24/10 (2006.01) C02F 3/06 (2006.01), патент 114353 Україна C2, № 201507010, заявл. 14.07.2015, опубл. 25.05.2017, Бюл. № 10.*
- [55] Ю. С. Андрієвич, "Переносна фільтрувальна система очищення води в польових умовах", *МПК (2015.01) B01D 36/02 (2006.01) B01D 29/00, патент 98740 Україна, № 201411076, заявл. 10.10.2014, опубл. 12.05.2015, Бюл. № 9.*
- [56] В. Л. Пономарьов, та А. А. Ісаков, "Спосіб порційного очищення води з природних джерел за допомогою мобільного пристрою", *МПК: C02F 1/18 (2006.01), патент 98944 Україна, № 201413209, заявл. 09.12.2014, опубл. 12.05.2015, Бюл. № 9.*
- [57] С. С. Душкін, Г. І. Благодарна, О. М. Коваленко, В. В. Євдошенко, та О. В. Гресь, "Спосіб очистки природних і стічних вод", *МПК: (2017.01) C02F 1/00 C02F 1/48 (2006.01), патент 118596 Україна, № 201702868, заявл. 27.03.2017, опубл. 10.08.2017, Бюл. № 15.*
- [58] R. Patil, D. Ahmad, P. Balkundae, Sh. Kausley, and Ch. Malhotra, "Development of low cost point-of-use (POU) interventions for instant decontamination of drinking water in developing countries", *Journal of Water Process Engineering*, vol. 37, 2020. doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101435.

References

- [1] V. M. Ladyzhensky, T. V. Dmitrenko, and A. V. Ishchenko (comp.), *Applied hydroecology: Lecture notes*, Kharkiv, Ukraine: KNAMG, 2011 [in Ukrainian].
- [2] State sanitary norms and rules *Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption (DSanPiN 2.2.4-171-10)*, as amended [in Ukrainian].
- [3] Ye. D. Dricker, "Water quality map of Ukraine – Central region". Ecosoft Blog. Oct. 20, 2020. [Online]. Available: <https://ecosoft.ua/blog/karta-kachestva-vody-ukrainy-tsentralnyy-region/>. Accessed on: Jun. 27, 2021. [in Ukrainian].
- [4] L. Senevirathna, S. Ramzan, and J. Morgan, "A sustainable and fully automated process to treat stored rainwater to meet drinking water quality guidelines", *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 130, pp. 190-196, Oct. 2019. doi: 10.1016/j.psep.2019.08.005.
- [5] A. P. Levchuk, and V. I. Maksin, "The use of adaptive approach to the development of water purification system", *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*, no. 2, pp. 126-135, 2020. doi: 10.31073/mivg202002-258 [in Ukrainian].
- [6] P. Budeli, R. C. Moropeng, and M. N. B. Momba, "Improvement of biosand filtration systems using silver-impregnated clay granules", *Journal of Water Process Engineering*, vol. 41, p. 102049, 2021. doi: 10.1016/j.jwpe.2021.102049.
- [7] V. A. Vasiliev, "Method of obtaining drinking water", *IPC: (2016.01) C02F 1/00 C02F 9/00, patent 104618 Ukraine, no. 201507560; appl. 28.07.2015, publ. 10.02.2016, Bull. no. 3* [in Ukrainian].
- [8] V. K. Korzhenevsky, "Installation for drinking water", *IPC (2016.01) C02F 1/44 (2006.01) C02F 1/463 (2006.01) B01D 65/00, patent 111440 Ukraine, no. 201604909, appl. 04.05.2016, publ. 10.11.2016, Bull. no. 21* [in Ukrainian].
- [9] T. Ye. Mitchenko, A. O. Mitchenko, P. V. Stender, and Z. V. Maletsky, "Automatic machine for purification and bottling of drinking water in consumers' containers", *IPC C02F 103/04 (2006.01), patent 78210 Ukraine, no. 201210849;*

- appl. 17.09.2012 publ. 11.03.2013, Бюл. no. 5 [in Ukrainian].
- [10] A. A. Semenov, "The use of UV radiation in combination with ozonation for water disinfection", in *IV Int. Sci.-Pract. Internet Conf. Modern materials science and commodity science: theory, practice, education*, 2017, pp. 33-34 [in Ukrainian].
- [11] Y. Zhang, H. Wang, Y. Li., B. Wang, J. Huang, S. Deng, G. Yu, and Y. Wang, "Removal of micropollutants by an electrochemically driven UV/chlorine process for decentralized water treatment", *Water Research*, vol. 183, 2020. doi: 10.1016/j.watres.2020.116115.
- [12] P. Setareha, S. M. Khezrib, H. Hossainic, and M. Pirsaehebc, "Coupling effect of ozone/ultrasound with coagulation for improving NOM and turbidity removal from surface water", *Journal of Water Process Engineering*, vol. 37, 2020. doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101340.
- [13] S. Zhang, H. Zheng, X. Tang, C. Zhao, C. Zheng, and B. Gao, "Sterilization by flocculants in drinking water treatment", *Chemical Engineering Journal*, vol. 382, 2019. doi: 10.1016/j.cej.2019.122961.
- [14] A. J. Bora, and R. K. Dutta, "Removal of metals (Pb, Cd, Cu, Cr, Ni, and Co) from drinking water by oxidation-coagulation-absorption at optimized pH", *Journal of Water Process Engineering*, vol. 31, 2019. doi: 10.1016/j.jwpe.2019.100839.
- [15] T. T. Q. Nguyen, P. Loganathan, B. K. Dinh, T. V. Nguyen, S. Vigneswaran, and H. Hao Ngo, "Removing arsenate from water using batch and continuous-flow electrocoagulation with diverse power sources", *Journal of Water Process Engineering* vol. 41, 2021. doi: 10.1016/j.jwpe.2021.102028.
- [16] S. T. McBeath, A. Hajimalayeri, S. Y. Jasim, and M. Mohseni, "Coupled electrocoagulation and oxidative media filtration for the removal of manganese and arsenic from a raw ground water supply", *Journal of Water Process Engineering*, vol. 40, 2021. doi: 10.1016/j.jwpe.2021.101983.
- [17] G. E. Clayton, R. M. S. Thorn, and D. M. Reynolds, "Development of a novel off-grid drinking water production system integrating electrochemically activated solutions and ultrafiltration membranes", *Journal of Water Process Engineering*, vol. 30, 2017. doi: 10.1016/j.jwpe.2017.08.018.
- [18] P. Schumann, J. A. Ordycez Andrade, M. Jekelb, and A. S. Ruhl, "Packing granular activated carbon into a submerged gravity-driven flat sheet membrane module for decentralized water treatment", *Journal of Water Process Engineering*, vol. 38, 2020. doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101517.
- [19] T. Yu. Dulneva, D. D. Kucheruk, O. S. Ievleva, and V. V. Honcharuk, "Purification of water from hydroxy compounds of iron by a wooden membrane", *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy*, vol. 12, pp. 108-113, 2019. doi: 10.15407/dopovidi2019.12.108 [in Ukrainian].
- [20] T. Yu. Dulneva, L. A. Deremeshko, O. I. Baranov, D. D. Kucheruk, and V. V. Honcharuk, "Purification of natural water from organic contaminants by modified microfiltration tubular ceramic membrane made of clay minerals", *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy*, vol. 9, pp. 61-67, 2020. doi: 10.15407/dopovidi2020.09.061 [in Ukrainian].
- [21] H. Dong, L. Xu, Y. Mao, Y. Wang, S. Duan, J. Lian, J. Li, J. Yu, and Z. Qiang, "Effective abatement of 29 pesticides in full-scale advanced treatment processes of drinking water: From concentration to human exposure risk", *Journal of Hazardous Materials*, vol. 403, 2020. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123986.
- [22] X. Tang, J. Wang, H. Zhang, M. Yu, Y. Guo, G. Li, and H. Liang, "Respective role of iron and manganese in direct ultrafiltration: from membrane fouling to flux improvements", *Separation and Purification Technology*, vol. 259, 2021. doi: 10.1016/j.seppur.2020.118174.
- [23] A. P. Bolshak, and T. Ye. Mitchenko, "Evaluation of the efficiency of drinking water purification with household cartridges", in *Proc. VI Int. Sci.-Pract. Conf. Clean water. Fundamental, applied and industrial aspects*, 2019, pp. 73-75 [in Ukrainian].

- [24] A. Afkhami, M. Marotta, D. Dixon, N. G. Ternan, L. J. Montoya-Jaramillo, M. Hincapie, L. Galeano, P. Fernandez-Ibanez, and P. S. M. Dunlop, "Assessment of low-cost cartridge filters for implementation in household drinking water treatment systems", *Journal of Water Process Engineering*, vol. 39, 2020. doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101710.
- [25] R. C. Medeiros, N. de M. N. Fava, B. L. S. Freitas, L. P. Sabogal-Paz, M. T. Hoffmann, J. Davis, P. Fernandez-Ibanez, and J. A. Byrne, "Drinking water treatment by multistage filtration on a household scale: Efficiency and challenges", *Water Research*, vol. 178, 2020. doi: 10.1016/j.watres.2020.115816.
- [26] K. Kalaitzidou, A. Zouboulis, and M. Mitrakas, "Cost evaluation for Se(IV) removal, by applying common drinking water treatment processes: Coagulation/precipitation or adsorption", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 8, no. 5, 2020. doi: 10.1016/j.jece.2020.104209.
- [27] X. Yang, G. Huang, C. Anc, X. Chen, J. Shen, J. Yin, P. Song, Z. Xua, and Y. Li, "Removal of arsenic from water through ceramic filter modified by nano-CeO₂: A cost-effective approach for remote areas", *Science of The Total Environment*, vol. 750, 2021. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141510.
- [28] H. S. Majdia, M. Sh. Jaafar, and A. M. Abed, "Using KDF material to improve the performance of multi-layers filters in the reduction of chemical and biological pollutants in surface water treatment", *South African Journal of Chemical Engineering*, vol. 28, pp. 39-45, 2019. doi: 10.1016/j.sajce.2019.01.003.
- [29] S. Evangelista, G. Viccione, and O. Siani, "A new cost effective, long life and low resistance filter cartridge for water treatment", *Journal of Water Process Engineering*, vol. 27, pp. 1-14, 2018. doi: 10.1016/j.jwpe.2018.11.004.
- [30] M. M. Tverdokhlib, and M. D. Homelia, "Study of the dynamics of the process of water purification from iron compounds on a catalytic filter", *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V. I. Vernadskoho. Seriya: Tekhnichni nauky*, vol. 29 (68), no. 6 (2), pp. 87-91, 2018. [Online]. Available: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/sntuts_2018_29\(68\)_6\(2\)_18](http://nbuv.gov.ua/UJRN/sntuts_2018_29(68)_6(2)_18) [in Ukrainian].
- [31] M. V. Korzhyk, and B. I. Shukh, "Algorithm for forming the optimal structure of the filter module in the process of drinking water purification", *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy "Kyivskyi politekhnichnyi instytut imeni Ihoria Sikorskoho". Seriya: Khimichna inzheneriia, ekolohiia ta resursozberezhennia*, no. 1 (17), pp. 128-132, 2018. doi: 10.20535/2306-1626.1.2018.143427 [in Ukrainian].
- [32] M. S. Anjali, S. Shrihari, and B. M. Sunil, "Experimental studies of slag filter for drinking water treatment", *Environmental Technology & Innovation*, vol. 15, 2019. doi: 10.1016/j.eti.2019.100418.
- [33] Y. Singh Solanki, M. Agrawal, S. Gupta, P. Shukla, K. Maheshwari, and M. O. Midda, "Application of synthesized Fe/Al/Ca based adsorbent for defluoridation of drinking water and its significant parameters optimization using response surface methodology", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 7, no. 6, 2019. doi: 10.1016/j.jece.2019.103465.
- [34] S. Singha, A. Khare, and S. Chaudhari, "Enhanced fluoride removal from drinking water using non-calcined synthetic hydroxyapatite", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 8, no. 2, 2020. doi: 10.1016/j.jece.2020.103704.
- [35] M. M. Tverdokhlib, and M. D. Homelia, "Sorption-catalytic purification of water from manganese compounds", *Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernadskoho. Seriya: Tekhnichni nauky: sci. journ.*, vol. 30 (69), no. 3, part 2, pp. 42-46, 2019. doi: 10.32838/2663-5941/2019.3-2/08 [in Ukrainian].
- [36] G. V. Sakalova, N. Yu. Chornomaz, M. S. Malovany, and T. M. Vasilinich, "Method of adsorption purification of drinking water from ammonium ions", *IPC C02F 1/28 (2006.01), patent 92511 Ukraine*, no. 201400824, appl. 29.01.2014,

- publ. 26.08.2014, Bull. no. 16 [in Ukrainian].
- [37] G. V. Sakalova, T. M. Vasilinich, and M. S. Malovany, "Method of wastewater treatment from heavy metal ions", *IPC C02F 1/28 (2006.01)*, patent 92512 Ukraine, no. 201400830, appl. 29.01.2014, publ. 26.08.2014, Bull. no. 16 [in Ukrainian].
- [38] V. M. Fedorova, S. O. Kobets, L. M. Puzyrna, O. O. Kosorukov, and G. M. Pshinko, "Method of water purification from cesium radionuclides", *IPC C02F 1/28 (2006.01)*, patent 98200 Ukraine, no. 201410248, appl. 18.09.2014, publ. 27.04.2015, Bull. no. 8 [in Ukrainian].
- [39] B. Ferrández-Gómez, R. Ruiz-Rosas, S. Beaumont, D. Cazorla-Amorós, and E. Morallón, "Electrochemical regeneration of spent activated carbon from drinking water treatment plant at different scale reactors", *Chemosphere*, vol. 264, part 1, 2020.
doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128399.
- [40] M. Megersa, W. Gach, A. Beyene, A. Ambelu, and L. Triest, "Effect of salt solutions on coagulation performance of *Moringa stenopetala* and *Maerua subcordata* for turbid water treatment", *Separation and Purification Technology*, vol. 221, pp. 319-324, 2019.
doi: 10.1016/j.seppur.2019.04.013.
- [41] H. Eslami, A. Esmaeili, M. H. Ehrampoush, A. A. Ebrahimi, M. Taghavi, and R. Khosravi, "Simultaneous presence of polytitanium chloride $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Mn}_2\text{O}_3$ nanocomposite in the enhanced coagulation for high rate As(V) removal from contaminated water", *Journal of Water Process Engineering*, vol. 36, 2020.
doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101342.
- [42] D. Ocińska, and P. Mazur, "Highly efficient arsenic sorbent based on residual from water deironing – Sorption mechanisms and column studies", *Journal of Hazardous Materials*, vol. 382, 2020.
doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.121062.
- [43] M. Taseidifar, M. Ziaee, R. M. Pashley, and B. W. Ninham, "Ion flotation removal of a range of contaminant ions from drinking water", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 7, no. 4, 2019.
doi: 10.1016/j.jece.2019.103263.
- [44] S. S. Dushkin, G. I. Blagodarna, and A. D. Blagodarnyi, "Method of preparing a solution of polyacrylamide flocculant for treatment of natural and wastewater", *IPC C02F 1/48 (2006.01) C02F 1/463 (2006.01)*, patent 106535 Ukraine, no. 201511345, appl. 17.11.2015, publ. 25.04.2016, Bull. no. 8 [in Ukrainian].
- [45] T. Yu. Nyzhnyk, V. I. Suprunchuk, and O. F. Alekseev, "Reagent for treatment of natural and wastewater by coagulation, method of its production and method of water purification with its use", *IPC (2015.01) C02F 1/52 (2006.01) C01G 23/00 B01J 21/06 (2006.01)*, patent 109947 Ukraine C2 (51), no. 201400144, appl. 09.01.2014, publ. 26.10.2015, Bull. no. 20 [in Ukrainian].
- [46] S. S. Dushkin, "Increase of the level of man-made safety in chlorination of drinking water", *Technogenic and Ecological Safety*, 8 (2/2020), pp. 60-69.
doi: 10.5281/zenodo.4300779 [in Ukrainian].
- [47] V. K. Korzhenevsky, "Installation for drinking water "VITAL BLOCK ENERGY", *IPC (2017.01) C02F 1/44 (2006.01) C02F 1/463 (2006.01) B01D 65/00*, patent 116350 Ukraine, no. 201613636, appl. 30.12.2016, publ. 10.05.2017, Bull. no. 9 [in Ukrainian].
- [48] V. K. Korzhenevsky, "Installation for drinking water "VITAL BLOCK LIGHT", *IPC (2017.01) C02F 1/44 (2006.01) C02F 1/463 (2006.01) B01D 65/00*, patent 115921 Ukraine, no. 201613158, appl. 22.12.2016, publ. 25.04.2017, Bull. no. 8 [in Ukrainian].
- [49] V. K. Korzhenevsky, "Installation for drinking water "WITAL BLOCK PRO", *IPC (2017.01) C02F 1/44 (2006.01) C02F 1/463 (2006.01) B01D 65/00*, patent 115923 Ukraine, no. 201613222, appl. 23.12.2016, publ. 25.04.2017, Bull. no. 8 [in Ukrainian].
- [50] G. S. Belimenko, and V. S. Gevod, "Device for preparation of water, mainly drinking, "Aquila", *IPC (2016.01) C02F 1/18 (2006.01) C02F 1/24 (2006.01) C02F 1/26 (2006.01) C02F 1/32 (2006.01) C02F 3/00 C02F 9/14 (2006.01) C02F 103/04 (2006.01)*, patent 110630 Ukraine, no. 201508434, appl. 28.08.2015, publ. 25.10.2016, Bull. no. 20 [in Ukrainian].

- [51] G. S. Belimenko, and V. S. Gevod, "Method of preparation of water, mainly drinking", *IPC C02F 1/24 (2006.01) C02F 1/32 (2006.01) C02F 3/02 (2006.01) C02F 9/02 (2006.01) C02F 9/14 (2006.01) C02F 103/04 (2006.01) E03B 11/02 (2006.01) C02F 1/72 (2006.01)*, patent 121849 Ukraine, no. 201604445, appl. 21.04.2016, publ. 26.12.2017, Bull. no. 24 [in Ukrainian].
- [52] G. S. Belimenko, and V. S. Gevod, "Method of deep complex purification (additional purification) of water, mainly drinking", *IPC C02F 1/24 (2006.01) C02F 1/32 (2006.01) C02F 3/02 (2006.01) C02F 9/02 (2006.01) C02F 9/14 (2006.01) B01D 25/02 (2006.01) C02F 1/62 (2006.01) C02F 1/66 (2006.01)*, patent 116157 Ukraine C2, no. 201602814, appl. 21.03.2016, publ. 12.02.2018, Bull. no. 3 [in Ukrainian].
- [53] M. M. Krupa, O. A. Dana, N. O. Kovalenko, Yu. B. Skirta, and I. V. Sharay, "Water purification device", *IPC: C02F 1/48 (2006.01) C02F 5/02 (2006.01)*, patent 114105 Ukraine C2, no. 201412966, appl. 03.12.2014, publ. 25.04.2017, Bull. no. 8 [in Ukrainian].
- [54] A. P. Kirienko, P. G. Kirienko, O. A. Sidachenko, and O. E. Kovnatsky, "Portable device for water purification", *IPC B01D 35/26 (2006.01) B01D 24/10 (2006.01) C02F 3/06 (2006.01)*, patent 114353 Ukraine C2, no. 201507010, appl. 14.07.2015, publ. 25.05.2017, Bull. no. 10 [in Ukrainian].
- [55] Yu. Ye. Andrievych, "Portable filter system of water purification in field conditions", *IPC (2015.01) B01D 36/02 (2006.01) B01D 29/00*, patent 98740 Ukraine, no. 201411076, appl. 10.10.2014, publ. 12.05.2015, Bull. no. 9 [in Ukrainian].
- [56] V. L. Ponomarov, and A. A. Isakov, "Method of batch purification of water from natural sources using a mobile device", *IPC: C02F 1/18 (2006.01)*, patent 98944 Ukraine, no. 201413209, appl. 09.12.2014, publ. 12.05.2015, Bull. no. 9 [in Ukrainian].
- [57] S. S. Dushkin, G. I. Blagodarna, O. M. Kovalenko, V. V. Yevdoshenko, and O. V. Gres, "Method of treatment of natural and wastewater", *IPC: (2017.01) C02F 1/00 C02F 1/48 (2006.01)*, patent 118596 Ukraine, no. 201702868, appl. 27.03.2017, publ. 10.08.2017, Bull. no. 15 [in Ukrainian].
- [58] R. Patil, D. Ahmad, P. Balkundae, Sh. Kausley, and Ch. Malhotra, "Development of low cost point-of-use (POU) interventions for instant decontamination of drinking water in developing countries", *Journal of Water Process Engineering*, vol. 37, 2020. doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101435.

T. V. Solodovnik, Ph. D., Associate Professor,
e-mail: solodovniktetana@gmail.com

I. K. Yakymenko, Postgraduate Student
e-mail: yakimenko97@ukr.net

Cherkasy State Technological University
Shevchenko st., 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

PROBLEMS AND METHODS OF DRINKING WATER PURIFICATION IN THE SYSTEMS OF DECENTRALIZED WATER SUPPLY

The quality of decentralized water supply, as a way to obtain water from natural sources, in order to meet the drinking needs of the population, should be assessed in accordance with established standards (physical, chemical, biological ones), which can be done in special laboratories. There are also special technologies for bringing chemical parameters of water in accordance with the standards.

In most cases, complex high-tech schemes of complex water purification are used. They are designed, manufactured and installed on the basis of chemical analysis of water at the inlet, the value of water consumption, etc. Depending on this data, devices differ in both function and cost. Another

important criterion of these installations is environmentally friendly materials, such as natural sorbents and coagulants, which are used to remove contaminants, and sometimes for disinfection.

One of the most common methods of water purification of decentralized supply is adsorption using effective sorbents, such as plant materials, biochar, modification of known adsorbents, and the possibility of their regeneration for reuse.

For decontamination and disinfection, scientists and researchers propose to use UV radiation and ozonation, which help to reduce the formation of toxic by-products and do not require a significant amount of reagents.

Paying attention to the fact, that not all settlements have the opportunity to build and maintain water treatment plants, the purification of drinking water, which comes decentrally to the consumer, is a promising area. The optimal solution to this problem consists in the development of portable installations or technologies, which have a long-lasting effect and do not require a lot of energy and reagents for drinking water suitable for safe consumption.

Keywords: water supply, groundwater, purification methods, filters, sorbents, installation.