

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НАПІРНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ У ПЕРЕСУВНИХ КОМПЛЕКСАХ ЗАБОРУ Й ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

Тетяна Куба

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, пр. Повітряних Сил, Київ, 03037, Україна
cubatan2@gmail.com, orcid.org/0009-0003-1223-1818

DOI: 10.32347/2524-0021.2025.52.46-55

Анотація. У статті проаналізовано ефективність багатоступеневих напірних фільтраційних систем у складі пересувних комплексів забору і очищення води, які розглядаються як ключовий елемент гуманітарного водопостачання в умовах воєнних дій та відсутності централізованого водопостачання. На прикладі річкової води р.Десна досліджено динаміку зміни показників якості води на етапах контактної коагуляції, напірної фільтрації (із застосуванням сучасних завантажень) та сорбційного очищення на вугільних фільтрах.

Узагальнено результати щодо зниження присутніх у воді органічних речовин, що оцінювалось за показником каламутності, забарвленості та перманганатної окиснюваності. Підтверджено, що за умови коректного налаштування режимів, технологічна схема забезпечує стабільну відповідність питної води санітарним нормам України, навіть при значних сезонних коливаннях складу вихідної води.

Розроблено математичну модель, де кожна стадія очищення описується коефіцієнтами вилучення домішок, що дозволяє прогнозувати кінцеву якість води. Результати дослідження є основою для розробки уніфікованих типорозмірів мобільних установок та підготовки програмних модулів, призначених для проектування й оптимізації систем децентралізованого водопостачання в умовах надзвичайних ситуацій.

Ключові слова: пересувний комплекс забору і очищення води, мобільні системи, напірна фільтрація, водопостачання в умовах війни.

ВСТУП

Якість поверхневих вод в Україні ще до початку повномасштабної агресії характеризувалася значним антропогенним навантаженням, підвищеним вмістом органічних речовин та вираженими сезонними коливаннями каламутності й забарвленості, що фіксувалося як у державній звітності, так і в численних наукових дослідженнях. Умови війни додатково посилюють ці ризики через руйнування очисних споруд каналізації, неконтрольовані скиди з промислових та комунальних об'єктів, та потенційні аварії із залученням небезпечних речовин. У таких ситуаціях традиційна модель централізованого водопостачання, яка спирається на великі водозабори і протяжні магістральні мережі, демонструє високу вразливість

до цілеспрямованих атак та відмов критичної інфраструктури, а здатність населених пунктів забезпечувати населення безпечною питною водою виявляється обмеженою в часі та просторі. Вода в умовах сучасних конфліктів перестає бути лише базовим ресурсом і дедалі частіше виступає як інструмент тиску, елемент гібридної війни та чинник гуманітарної кризи [1-3,7].

Міжнародні рекомендації для надзвичайних ситуацій визначають мінімальні обсяги води, необхідні для забезпечення потреб пиття та приготування їжі на рівні 5-15 л/добу [4,5]. Вказані значення формують основу розрахунку необхідних потужностей систем гуманітарного водопостачання, включно з пересувними комплексами очищення води. Таким

чином, у випадку тривалого припинення роботи централізованих мереж виникає потреба в технічних рішеннях, які здатні забезпечити водою гарантованої якості значну кількість людей при обмежених ресурсах енергії, реагентів та часу.

В Україні система централізованого водопостачання критично залежить від поверхневих джерел, (до 80 % у структурі водозбору). Однак якість цієї води часто не відповідає нормативним вимогам до джерел питного водопостачання. Згідно з класифікацією ДСТУ 4808:2007, більшість джерел за інтегральними показниками належать до 2–3 класу якості, проте за низкою критичних параметрів (вміст фітопланктону, перманганатна окиснюваність, запах, тощо) вода у поверхневих водоймах протягом значної частини року фактично відповідає 4 класу, що вимагає застосування складних схем очищення [3,6]. Ситуацію ускладнюють умови воєнного стану: виникають ризики неконтрольованого мікробіологічного та хімічного забруднення, а вимушені зупинки очисних споруд чи порушення технологічних режимів призводять до деградації якості води.

На цьому тлі мобільні комплекси очищення води розглядаються як один із ключових інструментів підтримання життєдіяльності населення в умовах відсутності або часткової втрати працездатності централізованих систем. Згідно з гуманітарними підходами, мобільні комплекси дозволяють оперативно розгорнути автономне виробництво питної води в місцях компактного проживання людей, біля пунктів тимчасового розміщення, логістичних хабів або на деокупованих територіях, де відновлення централізованих систем потребує значного часу і фінансових ресурсів [9–11]. Ключовим питанням залишається вибір технологічної схеми мобільної установки. З одного боку, потрібно забезпечити нормативну ефективність очищення, стійкість до широкого спектра природних і техногенних забруднювачів, можливість підвищених режимів знезараження в умовах загрози мікробіологічного або хімічного ураження. З

іншого, пересувні комплекси мають бути компактними, енергоефективними, технологічно простими в експлуатації та адаптованими до роботи в польових умовах.

Окремим завданням є адаптація технологічних схем мобільних комплексів до реальної динаміки змін якості поверхневих вод. Лабораторні та польові дослідження, проведені на Деснянській річковій воді, підтверджують, що навіть у межах одного сезону показники забарвленості, каламутності та перманганатної окиснюваності демонструють помітну мінливість, а ефективність коагуляції та фільтрації суттєво залежить від температури води, концентрації природних органічних речовин та обраних доз реагентів. Це висуває вимогу до універсальності пересувних комплексів. Вони повинні мати високу технологічну гнучкість, що дозволяє змінювати режими роботи, здійснювати перекомутацію ступенів очищення та адаптуватися до різних умов експлуатації.

З урахуванням зазначеного, проведено комплексне дослідження ефективності багатоступеневих напірних фільтраційних схем у пересувних установках водоочищення, а також аналіз їхньої просторової організації в умовах, наближених до реальних сценаріїв гуманітарного реагування.

У роботі реалізовано інтеграцію трьох рівнів аналізу – технологічного, експериментального та просторово-логістичного – в єдину концепцію мобільного водопостачання, орієнтовану на кризові ситуації, що дозволяє формувати стратегії децентралізованого водопостачання та підвищує стійкість комунальної інфраструктури.

Для реалізації поставлених завдань виконано:

- розробку універсальної технологічної схеми пересувного комплексу, яка передбачає можливість перекомутації потоків, байпасування окремих вузлів та оперативне підключення додаткових модулів;
- дослідження ефективності роботи схеми в напірному режимі на реальній річковій воді з

сезонними змінами характеристиками, що є типовим для поверхневих джерел України;

- визначення ефективності кожного ступеня очищення (контактна коагуляція, механічна, зерниста, сорбційна та мембранна фільтрація) щодо зниження каламутності, забарвленості, перманганатної окиснюваності та УФ-поглинання;
- алгоритмічне моделювання процесу, розроблено підхід, де для кожної стадії задаються розрахункові коефіцієнти зниження органічного забруднення. Цей алгоритм є основою для програмного модуля, що дозволяє прогнозувати кінцеву якість води, оцінювати залишковий ресурс завантаження та тривалість фільтроциклу.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Дослідження виконано в період лютий–травень 2025 року на воді р.Десна. Якість води характеризувалася вираженою сезонною мінливістю, типовою для поверхневих джерел України [3,15].

У зимово-весняний період спостерігалася значна динаміка фізико-хімічних параметрів. Температура води зростала від 1–4 °С наприкінці зими до 15 °С у травні. Низькі температури на початку досліджень створювали ускладнені умови для гідролізу коагулянтів та ефективного перебігу процесів пластівцеутворення. Каламутність води варіювала в широкому діапазоні – від 2,8 до 52 НОК, причому пікові значення фіксувалися під час весняного паводка. Показник забарвленості коливався в межах 25–55 град, а перманганатна окиснюваність становила 6,9–10,2 мгО₂/дм³, що суттєво перевищує нормативні вимоги до питної води [2]. Такі показники свідчать про високий вміст природних органічних речовин (гумінових та фульвокислот), які є складною мішенню для традиційних методів очищення та виступають прекурсорами побічних продуктів знезараження [16].

Розроблена технологічна схема (рис.1) мобільного комплексу реалізує принцип багато-

бар'єрності і включає такі функціональні вузли:

- вузол водозабору (насосна станція, оснащена системою грубої механічної фільтрації);
- блок контактного змішування реагентів;
- двоступінчастий блок напірної фільтрації I та II ступінь (фільтри із завантаженням на основі алюмосилікатів типу Filter-Ag Plus);
- вузол сорбційного очищення III ступінь (фільтр з гранульованим активованим вугіллям типу Filtrasorb 300).
- мембранний блок (опціонально) система зворотного осмосу з дозуванням антискаланта (на основі поліакрилових кислот). Використовується у випадках підвищеної мінералізації вихідної води або наявності специфічних забрудників [12, 18];
- вузли реагентної обробки, системи дозування (високоосновного гідроксихлориду алюмінію, гіпохлориту натрію), а також систему дозування бісульфіту (додаткова стадія очищення для видалення отруйних речовин).

Контроль ефективності роботи здійснювався за стандартними індикаторами якості: каламутність, забарвленість, перманганатна окиснюваність, залишковий вміст металів та мікробіологічні показники. Додатково для контролю органічного забруднення води, окрім визначення показника перманганатної окиснюваності, передбачалося також визначення показника світлопоглинання розчину в ультрафіолетовому спектрі при довжині хвилі 254 нм (метод УФ-254). Відбір проб проводився у контрольних точках після кожного технологічного етапу: вихідна вода → після реагентної обробки та механічного фільтра → після I ступеня фільтрації → після II ступеня фільтрації → після сорбційного фільтра.

Результати досліджень та їх аналіз

Багатоступенева напірна схема продемонструвала високу стабільність у видаленні зважених часток навіть за пікових навантажень (рис.2, 3).

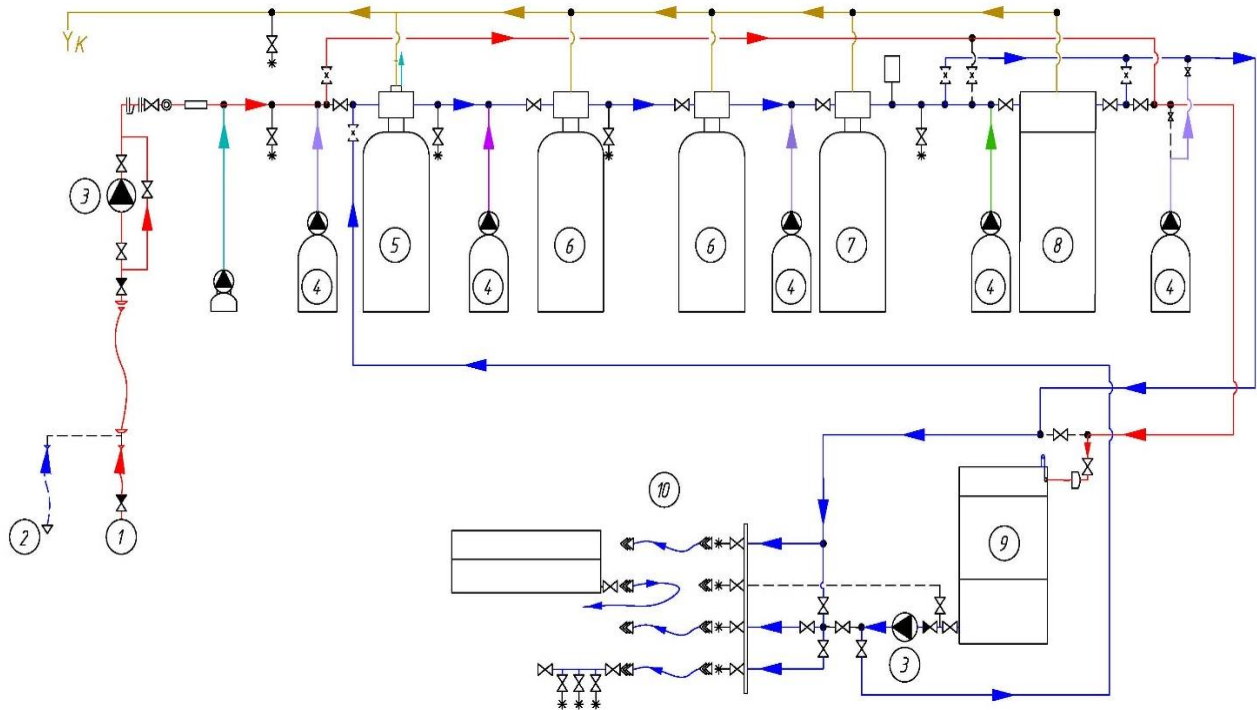


Рис. 1. Технологічна схема пересувного комплексу забору і очищення води: 1,2 – водозабірний вузол; 3 – насосна група; 4 – вузол дозування реагентів; 5-блок контактного змішування; 6 – система напірної фільтрації; 7 – система сорбційного очищення; 8– мембранний блок; 9 – ємність чистої води; 10 – вузол роздачі питної води

Fig. 1. Technological scheme of a mobile water intake and purification complex: 1,2 – water intake unit; 3 – pump group; 4 – reagent dosing unit; 5 – contact mixing unit; 6 – pressure filtration system; 7 – sorption purification system; 8–membrane unit; 9 – pure water tank; 10 – drinking water distribution unit

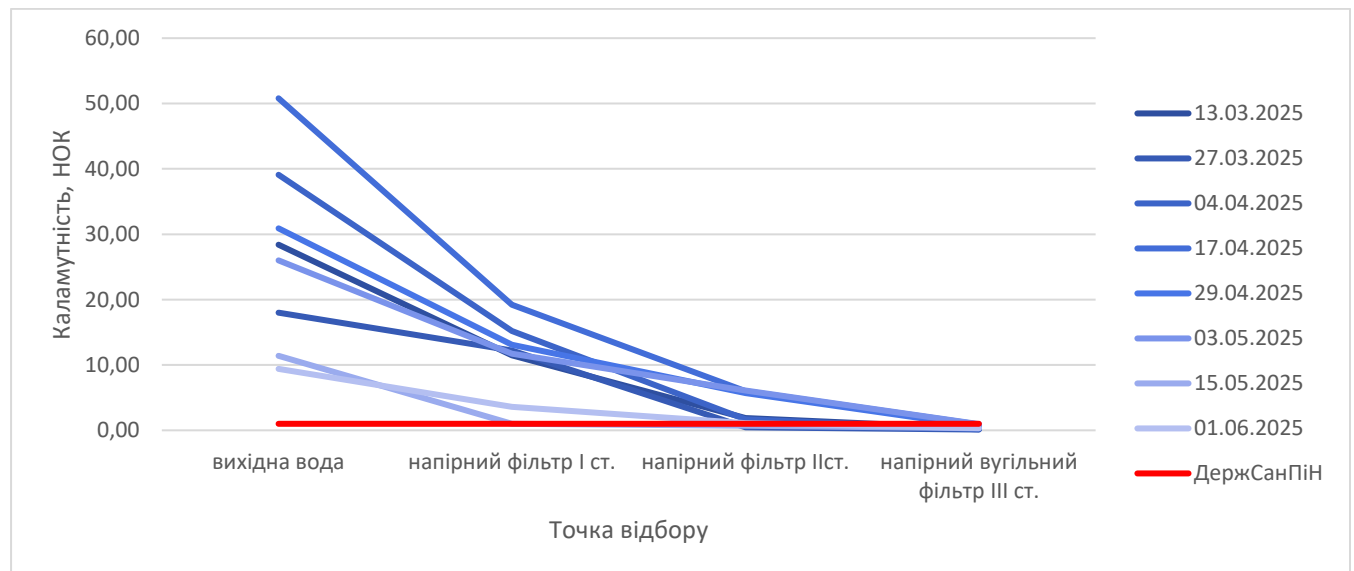


Рис. 2. Зміна показника каламутність в період 13.03.2025 – 01.06.2025

Fig. 2. Change in turbidity index in the period 13.03.2025 – 01.06.2025

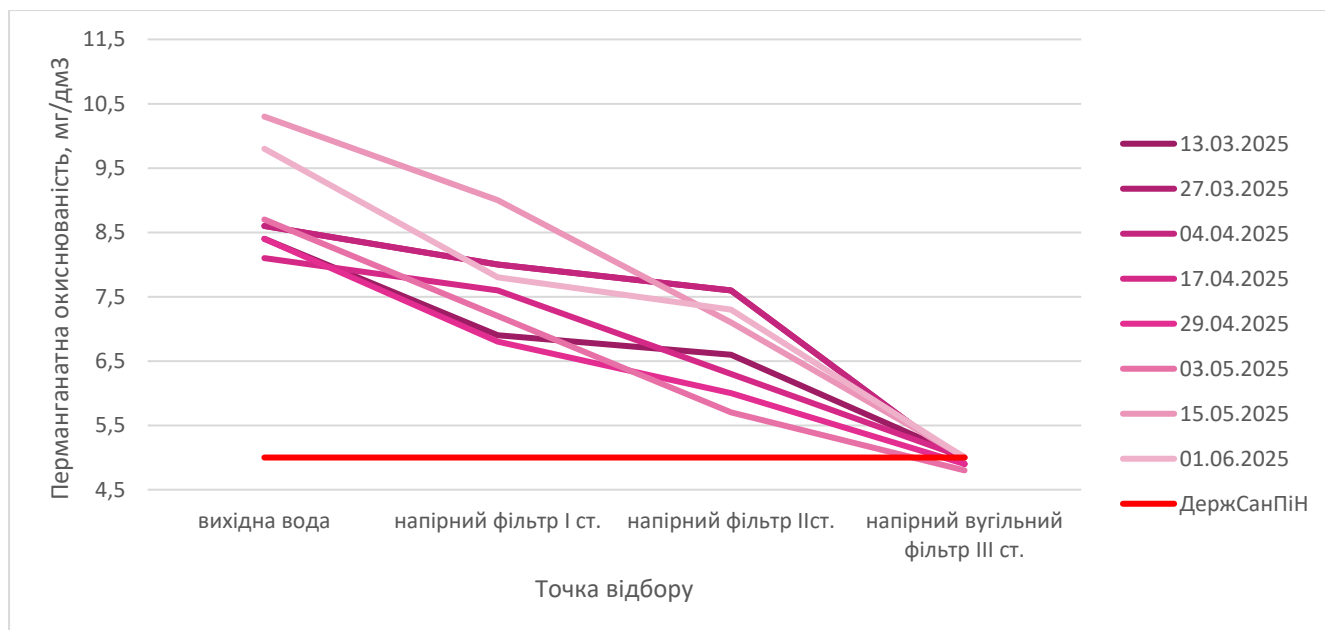


Рис. 3. Зміна показника перманганатна окиснюваність в період 13.03.2025 – 01.06.2025

Fig. 3. Change in permanganate oxidation index during the period 13.03.2025 – 01.06.2025

Аналіз кривих, побудованих за результатами дослідів, показує, що основне навантаження щодо затримання частинок припадає на перший напірний фільтр, де каламутність знижується з умовних 10–30 до 2–5 НОК. Другий фільтр виконує функцію доочищення і до рівня 1–2 НОК, тоді як вугільний фільтр забезпечує остаточне очищення й додаткове видалення тонкодисперсної органіки.

Видалення природніх органічних речовин, що характеризується перманганатною окиснюваністю, виявилось більш інерційним процесом, ніж видалення дисперсних забруднень, що відповідає класичним уявленням про поведінку гумінових і фульвокислотних сполук у процесах коагуляції та сорбції [16, 20]. Вихідні значення ПО становили 8–11 mgO_2/dm^3 . На стадії механічної фільтрації зниження цих показників було незначним, оскільки грубі фільтри практично не впливають на розчинену органіку. Основний внесок становлять коагуляційно-флокуляційна стадія та сорбційний вугільний фільтр.

За результатами досліджень після вугільного фільтра перманганатна окиснюваність зменшувалася до 4,8–5,0 mgO_2/dm^3 , що є достатнім для досягнення нормативів і суттєвого

зниження потенціалу утворення тригалометанів при хлоруванні. Для інтерпретації цих даних доцільно використовувати показник питомого УФ-поглинання (SUVA), який є лабораторним індикаторним показником, що використовується для оцінки ефективності коагуляції, розрахунку дози коагулянта, оцінки ступеня видалення органіки та прогнозу утворення побічних продуктів дезінфекції [20,21].

Узагальнення отриманих результатів (табл.1), підтверджує, що поєднання коагуляції та багатоступеневої напірної фільтрації дозволяє надійно знизити каламутність на рівні 99 % та забарвленість на рівні близько 80 %. Динаміка зниження перманганатної окиснюваності є менш інтенсивною, проте досягнуті значення цілком відповідають нормативним вимогам і гарантують безпечність подальшого хлорування. Ключовим елементом схеми виступає сорбційний блок із гранульованим вугіллям, який забезпечує ефективне вилучення розчинених органічних сполук — прекурсорів побічних продуктів дезінфекції, а також ефективно коригує органолептичні властивості води [20].

Табл. 1. Усереднені результати досліджень після кожного ступеню очищення**Table 1.** Averaged research results after each stage of purification

Показник	Вихідна вода	Напірний фільтр I ступінь	Н, %	Напірний фільтр II ступінь	η %	Сорбційний вуг. фільтр III ступінь	η %	Норматив ДСан-ПіН
Забарвленість, град	55	25	55	20	20	10	81	≤20
Каламутність, НОК	27,1	10,7	61	3,7	65	0,05	99,8	≤1,0
ПО, мг/дм³	10,2	7,9	22	7,6	4	4.9	52	≤5,0

Примітка. ПО – перманганатна окиснюваність, мг/дм³; η, % – ефективність очищення.

Ефективність очищення за кожним із досліджуваних показників визначалася на основі відносного зниження концентрації між вихідною водою та водою після відповідної стадії фільтрації [22].

$$\eta = \frac{(C_{in} - C_{out})}{C_{in}} \times 100\%, \quad (1)$$

де C_{in} – концентрація показника у вихідній воді; C_{out} – концентрація після очищення; η – ефективність очищення, %.

Математичне моделювання

З метою узагальнення експериментальних даних та прогнозування ефективності роботи пересувного комплексу в умовах змінної якості вихідної води, здійснено перехід від описового аналізу до формалізованого математичного моделювання. В основу моделі покладено принцип, згідно з яким кожен технологічний вузол (контактна коагуляція, напірна фільтрація, сорбційний фільтр) розглядається як незалежний бар'єр із визначеним коефіцієнтом видалення забруднень.

Зміна концентрації будь-якого показника якості води j (каламутність, забарвленість, перманганатна окиснюваність) в процесі проходження технологічного ланцюга описується як послідовне зниження концентрацій.

У загальному вигляді фінальна концентрація показника C_{out} після проходження n стадій очищення визначається через добуток послідовності:

$$C_{outj} = C_{inj} \times \prod_{i=1}^n (1 - \eta_{ij}) = C_{inj} \times (1 - \eta_{1j}) \times (1 - \eta_{2j}) \times \dots \times (1 - \eta_{nj}), \quad (2)$$

де C_{inj} – концентрація показника j у вихідній воді; η_{ij} – коефіцієнт ефективності i -ї стадії

щодо показника j (у частках одиниці).

Це дискретний аналог експоненційного закону розпаду, де концентрація зменшується в геометричній прогресії з кожним кроком.

На основі експериментальних даних встановлено розрахункові діапазони ефективності η для елементів схеми. Для каламутності сумарна ефективність каскаду становить 0,95–0,99. Для органічних забруднень (ПО) модель є більш консервативною (сумарне зниження 40–50%), що дозволяє "із запасом" прогнозувати ресурс фільтроциклу до моменту проскоку органіки.

Перевага такої спрощеної моделі полягає в тому, що вона дозволяє швидко оцінити очікувану якість води на виході пересувного комплексу для різних вихідних умов без виконання повномасштабного експерименту. Маючи вихідні значення якості вхідної води, за допомогою цієї моделі можна отримати прогнозовані кінцеві значення показників, оцінити, чи буде досягнуто вимог до питної води за наявних вихідних умов, а також порівняти між собою кілька варіантів компоновки схеми й обґрунтувати доцільність включення додаткових ступенів очищення.

ВИСНОВКИ

Проведений комплексний аналіз – від оцінки якості поверхневих джерел до математичного моделювання процесів очищення – дозволив сформулювати такі узагальнені висновки, важливі для розвитку систем гуманітарного водопостачання в Україні:

Технологічна ефективність. Експериментально доведено, що запропонована багатоступенева напірна схема (коагуляція – двоступенева фільтрація – сорбція) забезпечує стабільну якість питної води навіть в умовах сезонного погіршення стану джерела. Ефективність зниження каламутності сягає 99 %, а забарвленості — понад 80 %. Сорбційний вугільний бар'єр є критично необхідним елементом, який гарантує зниження вмісту органічних речовин (перманганатної окиснюваності) до нормативних значень ($\leq 5,0 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$), мінімізуючи ризики утворення побічних продуктів хлорування.

Прогнозованість процесів. Розроблена математична модель каскаду, що базується на коефіцієнтах ефективності для показників якості, є дієвим інструментом інженерного прогнозування. Вона дозволяє без проведення тривалих натурних випробувань оцінити очікувану якість води. Це створює передумови для розробки програмних модулів автоматизованого управління пересувними комплексами.

Роль пересувних комплексів у системі водної безпеки. Отримані результати підтверджують, що мобільні установки водопідготовки доцільно розглядати не як тимчасовий аварійний захід, а як структурний елемент національної системи водної безпеки. За умов воєнних загроз, руйнування або тривалої зупинки централізованих систем саме мережа пересувних комплексів, інтегрована в систему цивільного захисту та локальні плани реагування громад, може забезпечити санітарно-гігієнічну безпеку населення на деокупованих, прифронтових та віддалених територіях.

Перспективи впровадження та подальших досліджень. Результати дослідження є базою для розробки уніфікованих типорозмірів мобільних станцій, оновлення національних стандартів щодо децентралізованого водопостачання, а також створення цифрових інструментів підтримки прийняття рішень (software-модулів) для органів місцевого самоврядування та служб цивільного захисту.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Reed, B., Shaw, R., Chatterton, K.** How much water is needed in emergencies, in: *Technical notes on drinking-water, sanitation and hygiene in emergencies* World Health Organization (WHO), Water, Engineering and Development Centre (WEDC), Loughborough, UK, 2013. URL: <https://www.susana.org/knowledge-hub/re-sources?id=1825>
2. **ДСанПіН 2.2.4-171-10.** Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. Затв. Наказом МОЗ України № 400 від 12.05.2010. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10> (дата звернення: 26.11.2025).
3. **Національна доповідь** про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2021 році. Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України. URL: <https://mtu.gov.ua/content/nacionalna-dopovid-pro-yakist-pitnoi-vodi-ta-stan-pitnogo-vodopostachannya-v-ukraini.htm>.
4. **The Sphere Handbook.** Humanitarian Charter and Minimum Standards in Humanitarian Response. 4th ed. Geneva. Sphere Association. 2018. 406 p. https://spherestandards.org/wp-content/uploads/Sphere-Handbook-2018-EN.pdf?utm_source=chatgpt.com
5. **UNICEF.** Water, Sanitation and Hygiene (WASH) in Emergencies. Field Guide. New York. UNICEF. 2017. 120 p.
6. **Хільчевський В. К., Осадча Н. М., Курило С. М.** Водні ресурси та якість річкових вод України. Київ. ВПЦ «Київський університет». 2012. 184 с.
7. **UN-Water.** Water and Armed Conflicts. Analytical Brief. Geneva. UN-Water. 2015. 40 p.
8. **Регіональна доповідь** про стан навколишнього природного середовища в Україні. Поверхневі та підземні води. Держводагентство України. Київ. 2018. 180 с.
9. **Кравченко О., Хоружий В., Каніболоцький В.** Особливості експлуатації систем питного водопостачання в умовах воєнного часу // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2022. (38), 18–37. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.38.18-37>
10. **Кравченко О., Куба Т., Потапенко С., Хоружий В., Аргатенко Т., Бакуновський О.** Планування та організація децентралізованих систем

водопостачання у воєнний період в Україні // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2023, (44), 29–39. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.44.29-39>

11. **Куба Т.** Пересувні комплекси забору і очищення води, як інструмент забезпечення стійкості в умовах сучасних конфліктів // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2025, (50), 61–69. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2025.50.61-69>

12. **Upchurch J., Butterfield P., Moser S.** Mobile membrane systems for emergency drinking water supply // Journal American Water Works Association. 2017. Vol. 109, No. 11. P. 44–54. https://www.researchgate.net/publication/362970971_Mobile_Modular_Systems_of_Water_Treatment_and_Storage_in_Crises_-_Solutions_used_Depending_on_the_Type_of_Threats

13. **Shannon M. A., Bohn P., Elimelech M.** et al. Science and technology for water purification in the coming decades // Nature. 2008. Vol. 452. P. 301–310.

14. **Потапенко С., Кравченко О.** (2024). Основні проблеми функціонування існуючих систем водопостачання та водовідведення в Україні // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, (46), 35–42. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2024.46.35-42>

15. **Національна доповідь** про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2019 році. Київ: Міндовкілля, 2020. 300 с.

16. **Edzwald J. K.** (2011). Water Quality and Treatment. A Handbook on Drinking Water. 6th ed. New York. McGraw-Hill.

17. **Crittenden J. C., Trussell R. R., Hand D. W., Howe K. J., Tchobanoglous G.** MWH's Water Treatment. John Wiley & Sons, Inc. 2012. URL: <https://doi.org/10.1002/9781118131473>

18. **Li Q., Elimelech M.** Synergistic effects in combined fouling of a loose nanofiltration membrane by colloidal materials and natural organic matter // Journal of Membrane Science, 2006, 278(1–2), 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2005.10.045>

19. **Park Y. K., An J.-S., Park J., Oh H. J.** Development of Mobile Water Treatment Package System for Emergency Water Supply // International Journal of Structural and Civil Engineering Research. 2015. URL: <https://doi.org/10.18178/ijscer.4.3.296-300>

20. **Matilainen A., Vepsäläinen M., Sillanpää M.** Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review // Advances in Colloid and Interface Science, 2010. 159(2), 189–197. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2010.06.007>

21. **Krasner S. W., Weinberg H. S., Richardson S. D., Pastor S. J., Chinn R., Scilimenti M. J., Onstad G. D., Thruston A. D.** Occurrence of a New Generation of Disinfection Byproducts // Environmental Science & Technology, 2006, 40(23), 7175–7185. <https://doi.org/10.1021/es060353j>

22. **Nhut H. T., Hung N. T. Q., Sac T. C., Bang N. H. K., Quang Tri T., Trung Hiep N., Minh Ky N.** Removal of nutrients and organic pollutants from domestic wastewater treatment by sponge-based moving bed biofilm reactor. Environmental Engineering Research, 2019, 25(5), 652–658. <https://doi.org/10.4491/eer.2019.285>

REFERENCES

1. **Reed, B., Shaw, R., Chatterton, K.** (2013). How much water is needed in emergencies, in: *Technical notes on drinking-water, sanitation and hygiene in emergencies* World Health Organization (WHO), Water, Engineering and Development Centre (WEDC), Loughborough, UK. Retrieved from <https://www.susana.org/knowledge-hub/resources?id=1825>

2. **Ministry of Health of Ukraine** (2010). **SSanR&R 2.2.4-171-10.** Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption. Approved by Order of the Ministry of Health of Ukraine No. 400 dated 12.05.2010. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10> (date of application: 26.11.2025).

3. **Ministry of Community, Territorial and Infrastructure Development of Ukraine** (2022). National report on drinking water quality and the state of drinking water supply in Ukraine in 2021. Retrieved from <https://mtu.gov.ua/content/nacionalna-dopovid-pro-yakist-pitnoi-vodi-ta-stan-pitnogo-vodopostachannya-v-ukraini.htm>.

4. **Sphere Association.** *The Sphere Handbook: Humanitarian Charter and Minimum Standards in Humanitarian Response*, fourth edition, Geneva, Switzerland, 2018. Retrieved from www.spherestandards.org/handbook

5. **UNICEF.** Water, Sanitation and Hygiene (WASH) in Emergencies. Field Guide. New York. UNICEF. 2017. 120 p.

6. **Khilchevsky, V. K., Osadcha, N. M., & Kurylo, S. M. (2012)** *Water resources and quality of river waters of Ukraine*. Kyiv. VOC "Kyiv University". [in Ukrainian]
7. **UN-Water. Water and Armed Conflicts.** Analytical Brief. Geneva. UN-Water. 2015.
8. **State Water Agency of Ukraine (2018).** *Regional report on the state of the natural environment in Ukraine. Surface and groundwater*. Retrieved from <https://komekolog.rada.gov.ua/uploads/documents/36494.pdf> [in Ukrainian]
9. **Kravchenko, O., Khoruzhy, V., & Kanibolotsky, V. (2022).** Peculiarities of operation of drinking water supply systems in wartime. *Problems of Water Supply, Sewerage and Hydraulic*, (38), 18–37. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.38.18-37>
10. **Kravchenko, O., Kuba, T., Potapenko, S., Khoruzhy, V., Arhatenko, T., & Bakunovskyi, O. (2023).** Planning and organization of decentralized systems water supply in the war time in Ukraine. *Problems of Water Supply, Sewerage and Hydraulic*, (44), 29–39. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.44.29-39>
11. **Kuba, T. (2025).** Mobile complexes of fence and water treatment as a tool for ensuring stability in modern conflicts. *Problems of Water Supply, Sewerage and Hydraulic*, (50), 61–69. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2025.50.61-69>
12. **Wolny, P. (2021).** Mobile Modular Systems of Water Treatment and Storage in Crises – Solutions used Depending on the Type of Threats. *Current Trends in Civil & Structural Engineering*, 8(1). <https://doi.org/10.33552/ctcse.2021.08.000677>
13. **Shannon, M. A., Bohn, P. W., Elimelech, M., Georgiadis, J. G., Mariñas, B. J., & Mayes, A. M. (2008).** Science and technology for water purification in the coming decades. *Nature*, 452(7185), 301–310. <https://doi.org/10.1038/nature06599>
14. **Potapenko, S., & Kravchenko, O. (2024).** The main problems of the functioning of existing water supply and water distribution systems in Ukraine. *Problems of Water Supply, Sewerage and Hydraulic*, (46), 35–42. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2024.46.35-42>
15. **Ministry of Environment (2020).** National Report on the State of the Environment in Ukraine in 2019. Retrieved from <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/natsionalni-dopovid-pro-stan-navkolyshnogo-pryrodnogo-seredovyshha-v-ukrayini/> [in Ukrainian]
16. **Edzwald J. K. (2011).** *Water Quality and Treatment. A Handbook on Drinking Water*. 6th ed. New York. McGraw-Hill.
17. **Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W., Howe, K. J., & Tchobanoglous, G. (2012).** *MWH's Water Treatment*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781118131473>
18. **Li, Q., & Elimelech, M. (2006).** Synergistic effects in combined fouling of a loose nanofiltration membrane by colloidal materials and natural organic matter. *Journal of Membrane Science*, 278(1–2), 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2005.10.045>
19. **Park, Y. K., An, J.-S., Park, J., & Oh, H. J. (2015).** Development of Mobile Water Treatment Package System for Emergency Water Supply. *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*. <https://doi.org/10.18178/ijscer.4.3.296-300>
20. **Matilainen, A., Vepsäläinen, M., & Sillanpää, M. (2010).** Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 159(2), 189–197. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2010.06.007>
21. **Krasner, S. W., Weinberg, H. S., Richardson, S. D., Pastor, S. J., Chinn, R., Scilimenti, M. J., Onstad, G. D., & Thruston, A. D. (2006).** Occurrence of a New Generation of Disinfection Byproducts. *Environmental Science & Technology*, 40(23), 7175–7185. <https://doi.org/10.1021/es060353j>
22. **Nhut, H. T., Hung, N. T. Q., Sac, T. C., Bang, N. H. K., Quang Tri, T., Trung Hiep, N., & Minh Ky, N. (2019).** Removal of nutrients and organic pollutants from domestic wastewater treatment by sponge-based moving bed biofilm reactor. *Environmental Engineering Research*, 25(5), 652–658. <https://doi.org/10.4491/eer.2019.285>

Research on the efficiency of pressure filtration in mobile water collection and purification complexes

Tetiana Kuba

Abstract. The article analyzes the effectiveness of multi-stage pressure filtration systems as part of mobile water intake and purification complexes, which are considered a key element of humanitarian water supply in conditions of military operations and the absence of centralized water supply. Using the example of river water of the Desna River, the dynamics of changes in water quality indicators at the stages of contact coagulation, pressure filtration (using modern loadings) and sorption purification on carbon filters are studied.

The results are summarized regarding the reduction of organic substances present in water, which was assessed by the indicator of turbidity, color and permanganate oxidation. It is confirmed that, provided that the modes are correctly set, the technological scheme ensures stable compliance of drinking water with the sanitary standards of Ukraine, even with significant seasonal fluctuations in the composition of the source water.

A mathematical model has been developed, where each stage of purification is described by the coefficients of impurity removal, which allows predicting the final water quality. The results of the study are the basis for the development of unified dimensions of mobile installations and the preparation of software modules intended for the design and optimization of decentralized water supply systems in emergency situations.

Keywords: mobile water intake and purification complex, mobile systems, pressure filtration, water supply in wartime.

Стаття надійшла до редакції 20.11.2025