

ПЛАНУВАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ У ВОЄННИЙ ПЕРІОД В УКРАЇНІ

Олександр Кравченко¹, Тетяна Куба², Світлана Потапенко³,
Віктор Хоружий⁴, Тетяна Аргатенко⁵, Олег Бакуновський⁶

^{1,2,3,4,5} Київський національний університет будівництва і архітектури
31, Повітрофлотський пр., м. Київ, Україна, 03037

⁶ ТОВ «ІВІК Формула води», 14/34, вул. Крамського Івана, м. Київ, Україна, 03115

¹ докт. техн. наук, kravchenko.ov@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0001-6289-0641

² cubatan2@gmail.com, orcid.org/0009-0003-1223-1818

³ potapenko_sp-2022@knuba.edu.ua, orcid.org/0009-0000-4221-4048

⁴ докт. техн. наук, khoruzhyi.vp@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0002-5314-0483

⁵ канд. техн. наук, argatenko.tv@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0003-2516-2906

⁶ bakunovsky@ukr.net, orcid.org/0009-0000-8929-425X

DOI: 10.32347/2524-0021.2023.44.29-39

Анотація. Системи централізованого водопостачання виявилися досить вразливими під час воєнних дій, тому важливо розробити обґрунтовану концепцію децентралізованого водопостачання, спрямовану на забезпечення населення питною водою за відсутності централізованого водопостачання. Децентралізоване водопостачання включає джерела якісної води, системи її транспортування та роздачі споживачам.

Як джерела водопостачання можуть використовуватись підземні води або системи централізованого водопостачання. Вода природних джерел переважно потребує очищення. Системи очищення можуть бути стаціонарними, контейнерного типу або пересувними. Попри достатньо широкий асортимент подібних систем, не всі вони можуть бути ефективно застосовані в реальних умовах. Аналіз ринку автотранспорту для доставлення води виявив значний дефіцит спеціалізованих водовозних автоцистерн. Така ситуація збільшує попит на системи доставлення води на неспеціалізованому транспорті, що фактично забезпечує всі переваги спеціалізованих автоцистерн з одночасним зниженням вартості транспортування шляхом застосування бортових кузовів. Роздача води може здійснюватися як з водовозних машин, так і зі стаціонарних ємностей, які встановлюються у громадських або житлових будівлях.

Оперативна та ефективна організація децентралізованого водопостачання можлива лише на основі геопросторового плану, який включає визначення джерел водопостачання, кількості та типу водоочисних систем, оптимальних місць розташування точок роздачі води, кількості водовозного транспорту та маршрутів доставлення води.

Ключові слова: система водопостачання, децентралізоване водопостачання, джерела водопостачання, очищення води, транспортування води, системи роздачі води.

ВСТУП

Півтора роки широкомасштабної війни, розв'язаної російськими агресорами на території України, призвели до жахливих наслідків в її економіці, великих людських жертв, чисельних руйнувань житлових будинків, підприємств, громадських та адміністративних будівель та ін., зокрема і

об'єктів критичної інфраструктури [1-3]. Централізоване водопостачання та водовідведення відносяться до систем життєзабезпечення, від сталого функціонування яких, насамперед, залежить здоров'я та добробут населення. Вже наявний на даний час досвід переконливо свідчить, що значні території країни через воєнні дії можуть залишитися

без доступу до питної води і санітарії. Реальність такої ситуації підтверджується підривом Каховської греблі, внаслідок чого біля 80 населених пунктів постраждало від затоплення водою з Каховського водосховища (при цьому зрозуміло постраждали і системи централізованого водопостачання/водовідведення) [4]. Ця трагедія вкотре засвідчує про необхідність підготовки населених пунктів до можливого припинення централізованого водопостачання.

Враховуючи, що атаки російських військ різними видами зброї відбуваються в Україні щодобово, проблема організації дублюючої системи забезпечення населення питною водою у разі зупинення централізованого водопостачання потребує оперативного вирішення.

Системи водопостачання/водовідведення виявилися досить вразливими під час воєнних дій насамперед тому, що передбачити такий сценарій з боку «російського брата» до 24 лютого 2022 року було просто неможливо [5-8]. Їх нормальному функціонуванню можуть перешкоджати такі фактори, як руйнування об'єктів або пошкодження їх окремих частин; дефіцит реагентів і матеріалів для очищення води; відсутність необхідних машин, устаткування, засобів для ремонту та ін., а також відключення електроенергії. У таких умовах цілком вірогідно тимчасове або довготривале зупинення систем централізованого водопостачання, а отже необхідно визначити шляхи для забезпечення потреб населення у питній воді хоча б в кількості, достатній для пиття і приготування їжі.

Значна кількість міжнародних донорів та благодійних організацій, які працюють в секторі WASH (Водопостачання, здоров'я і санітарія) намагаються допомогти населенню шляхом забезпечення їх безпосередньо фасованою водою або відповідним водоочисним обладнанням (побутовим або централізованим) [9-10]. Але ці заходи часто є точковими, а значні витрати виявляються марними, що особливо прикро, враховуючи надзвичайну потреби країни у цих коштах.

Важливо розробити обґрунтовану концепцію децентралізованого водопостачання, спрямовану на забезпечення населення

питною водою за відсутності централізованого водопостачання. Саме тому, предметом даної статті є визначення основних вимог до децентралізованих систем очищення води та їх складових елементів.

АНАЛІЗ РИЗИКІВ

Для організації системи децентралізованого водопостачання слід оцінити основні критерії роботи системи, а саме визначити її необхідну продуктивність, комплектність очисних елементів, потрібний час роботи тощо. Така інформація має визначатися для кожного конкретного населеного пункту на основі оцінки вірогідності наступних ризиків, що можуть призвести до припинення централізованого водопостачання.

Ризик руйнування системи або її ключових елементів. Цей ризик є найбільш вірогідним у місцях безпосередніх бойових дій або на територіях, розташованих поблизу них (наприклад, Чернігів, Ірпінь та ін.). Він сильно залежить від типу системи і наявності в ній «вузьких місць», наприклад, лише один водозабір, водоочисна або насосна станція. При цьому системи з підземним забором води часто є більш розосередженими, а тому і більш стійкими до повного руйнування.

Ризик зупинення системи через знеструмлення. Починаючи з осені 2022 року російські військові відкрито та цілеспрямовано руйнували енергетичну інфраструктуру населених пунктів України, що неминуче призводило і до знеструмлення елементів систем водопостачання. За час регулярного відключення електроенергії Україна набула певного досвіду подолання цього ризику, наприклад, шляхом встановлення локальних систем генерації електроенергії. З іншого боку, особливо на великих об'єктах централізованого водопостачання забезпечити генераторами необхідну потужність не завжди технічно можливо та економічно доцільно. До певної міри цей ризик можна було би контролювати, зменшуючи енергозалежність систем (наприклад, заміною на період ризиків енергозалежних технологій – електролізне отримання гіпохлориту натрію, УФ-опромінення, озонування), але враховуючи

необхідність не тільки очищення, але й транспортування води, завжди існуватиме певна кількість систем (зазвичай великої продуктивності, зі складним рельєфом та/або значною відстанню перекидання води), які потребуватимуть великої кількості електроенергії і будуть зупинятися при знеструмуванні.

Ризик зупинення внаслідок неможливості забезпечення належної якості води. Цей ризик може виникати при зміні джерела водопостачання (м. Миколаїв, наприклад, було вимушене перейти на використання солоної води з Бузького лиману при руйнуванні водоводів, які подавали дніпровську воду з Херсонської області); погіршення якості води у джерелі (це спостерігається у районах, розташованих поблизу Каховського водосховища); неможливості організувати технологічний процес очищення води (через відсутність реагентів або інших матеріалів, що особливо характерно для водоканалів в зоні бойових дій) тощо.

Ризик зупинення внаслідок ХБРЯ-забруднення (хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного забруднень). Цей ризик зумовлений можливістю як навмисного забруднення джерел питного водопостачання (через використання зброї масового враження, отруєння води ДРГ та ін.), так і ненавмисного (наприклад, у звільнених районах Херсонської області існує значна кількість неофіційних захоронень, водозлив з яких з високою ймовірністю призведе до контамінації води хвороботворними бактеріями). Ситуація на Запорізькій АЕС також залишається неоднозначною, що створює ризик радіаційного та ядерного забруднення. В залежності від природи ХБРЯ- забруднювача може бути прийняте рішення про неможливість постачання води (навіть як технічної) в централізовану систему водопостачання.

Ризик зупинення через відсутність достатньої кількості води у джерелі водопостачання.

Через руйнування Каховської греблі така ситуація наразі склалась у деяких населених пунктах: Кривий Ріг, Марганець, Нікополь та ін. Руйнування водосховища призвело до дефіциту води в джерелах водопостачання.

Слід, також зазначити, що знищення дамби Каховської ГЕС впливатиме і на водопостачання Миколаївської області.

Наведені вище ризики зупинення систем централізованого водопостачання є достатньо високими і цілком реальними, а тому підготовка до них або реалізація заходів з їх зниження повинна стати невід'ємною частиною планування відновлення систем водопостачання. Варто зазначити, що ситуації з нестачею питної води будуть часто виникати при звільненні окупованих російськими військами території країни.

Перед аналізом шляхів організації децентралізованої системи водопостачання слід розглянути деякі можливі альтернативи.

✦ Постачання населення фасованою водою. Цей спосіб технічно дуже простий і зазвичай використовується донорами в короткостроковій період до впровадження інших заходів. Однак проблема полягає в тому, що задовільнити повну потребу людей у воді для пиття, приготування їжі та гігієнічних цілей у такий спосіб дуже складно. Крім високої вартості, існують й очевидні логістичні обмеження в районах, які постраждали внаслідок військових дій або надзвичайних ситуацій. Тому, зазвичай норму постачання фасованою водою занижують до 1-1,5 л, що може бути достатньо для пиття, але не покриває інших потреб. Внаслідок цього, особливо у тривалий період такого забезпечення водою, люди вимушені використовувати інші джерела води, що може швидко призвести до епідемічних ситуацій.

✦ Використання інших наявних систем водопостачання. Наприклад, в Києві існує система бюветних комплексів, незалежних від централізованого водопостачання, яка в разі його зупинення може бути використана для забезпечення населення питною водою. Водночас такі системи потребують певної перевірки і контролю (наприклад, потрібно визначити, чи достатньо буде води у бюветах за умови користування ними усіма мешканцями; чи наявні бювети у всіх районах міста), а також регулярного обслуговування (організація безперервного електроживлення, аналіз якості води, забезпечення

роздачі води з бюветів людям похилого віку, інвалідам та іншим групам населення).

✦ Організація роботи системи централізованого водопостачання в особливих режимах, наприклад, декілька годин на добу; зниження обсягів води; подача води під тиском «до нульового поверху» з організацією її розбору на вході в будинок тощо. Можливість організації водозабезпечення у такий спосіб сильно залежить від особливостей самої системи та причин її зупинення, тому зазвичай необхідно розробляти окремий сценарій для конкретного населеного пункту.

✦ Забезпечення всього населення локальними системами очищення води з місцевих джерел, наприклад, приватних колодязів. Такий варіант може бути реалізований лише в регіонах країни, достатньо забезпечених підземною водою високої якості (насамперед, на заході України). Крім того, застосування локальних систем очищення води потребує значних фінансових ресурсів. Скоріше, таке рішення може бути реалізоване у поєднанні з переходом на децентралізоване водопостачання.

ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ

Децентралізовані системи постачання та відведення води розглядаються в сучасному контексті сталого управління водними ресурсами як умова підвищення безвідмовності роботи систем життєзабезпечення населених пунктів. Дослідження останніх років [11-14] свідчать, що децентралізовані системи мають більш високий показник безвідмовності та стійкості в умовах надзвичайних ситуацій в порівнянні з традиційними централізованими системами.

Отже саме децентралізація систем водопостачання має, на нашу думку, значно підвищити надійність забезпечення населення в Україні водою питної якості в умовах воєнного часу.

Принципово система децентралізованого водопостачання повинна включати три обов'язкові складові (рис. 1):

- джерело (або комплекс з джерела та системи очищення для досягнення води питної якості);
- систему доставки води споживачам;
- систему роздачі води споживачам.



Рис. 1. Основі складові системи децентралізованого водопостачання
Fig. 1. Basic components of the decentralized water supply system

Необхідно розуміти, що відсутність або «ослаблення» будь-якої складової системи

призведе до неефективності її роботи. Тому, при організації у населеному пункті

децентралізованого водопостачання потрібно чітко планувати кожну ланку, забезпечуючи необхідну кількість обладнання на кожній зі стадій процесу.

Однак слід відзначити, що у ситуаціях, коли система централізованого водопостачання працює надійно, але вода в ній не відповідає вимогам питної якості (це, наприклад, спостерігалось і періодично спостерігається в м. Миколаїв), децентралізоване водопостачання може базуватися частково або повністю на використанні води з централізованої системи. В цьому випадку (як це і було зроблено в Миколаєві) встановлюється велика кількість систем доочищення води (у Миколаєві – це знесолення води зворотнім осмосом), і населення здійснює розбір води безпосередньо з систем доочищення. Але такий спосіб є скоріше виключенням, ніж правилом.

Джерелами води у системах децентралізованого водопостачання можуть бути:

- підземні свердловини з водою задовільної якості; в цьому випадку потрібне лише знезараження води;
- некондиційні підземні та поверхневі джерела; в цьому випадку потрібні засоби забору і підготовки води;
- системи централізованого водопостачання інших населених пунктів.

Перший і третій варіанти є дешевшими у реалізації, але не завжди доступними. При розробленні концепції децентралізованого водопостачання за третім варіантом необхідно обов'язково враховувати і ризики, які можуть виникати у системі централізованого водопостачання в іншому населеному пункті. Крім того, плече транспортування води не повинне бути завеликим. Тому, в більшості випадків необхідне застосування децентралізованих систем очищення води.

Системи забору і очищення води можуть бути:

- стаціонарними;
- контейнерного типу;
- пересувними.

На перший погляд, стаціонарні системи є найбільш простими, оскільки включають лише набір насосного й очисного обладнання, але насправді саме вони потребують

довгострокового планування і фактично не можуть бути швидко реалізовані на практиці. Справа в тому, що за законодавством України створення стаціонарної системи водозабірних і водоочисних споруд (навіть для децентралізованого водозабезпечення населення) відноситься до нового будівництва з класом наслідків СС2 або СС3 залежно від кількості обслуговуваного населення. Відповідно, їх будівництво потребує розробки проектно-кошторисної документації та проведення комплексної експертизи проекту. В цьому випадку також повинні бути використані надійні рішення з тепло- та енергозабезпечення об'єкту тощо. Отже, цей спосіб є доцільним на перспективу, але малопродатним при необхідності оперативної організації системи децентралізованого водопостачання.

Системи контейнерного типу за законодавством відносяться до малих архітектурних форм, а отже не потребують процедури проектування. Зазвичай такі системи виготовляються в заводських умовах, розміщуються у морських контейнерах (звичайних або зменшених в залежності від продуктивності) і являють собою завершене рішення; за їх працездатність відповідає виробник. Для встановлення контейнеру потрібен кран і тимчасовий фундамент. Все інше обладнання, шланги, система заповнення водовозів та інше входять до комплексу контейнеру.

У порівнянні зі стаціонарними системами – це набагато швидше рішення, яке позитивно зарекомендувало себе в Україні, особливо для систем порівняно великої продуктивності (для забезпечення 50 і більше тис. осіб). Серед основних обмежень систем такого типу слід відзначити досить високу вартість та час очікування поставки контейнерів, на які зараз існує певна черга на ринку України.

Пересувні системи очищення води різної продуктивності можуть бути змонтовані на автомобільних причепах відкритого або закритого типів, напівпричепах сідлових тягачів та безпосередньо на шасі автомобілів. Аналогічно до установок контейнерного типу пересувні системи повинні також

включати всі необхідні насоси, шланги, пристрої забору води з різних джерел, резервуари, насос для заповнення водовозів і (опціонально) системи розливу в тару споживачів безпосередньо на місці. Такі системи також не відносяться до об'єктів будівництва, а отже для впровадження не потребують виготовлення проектною документації.

Додатковою перевагою мобільних водоочисних систем є можливість швидкого пуску/зупинки (зазвичай 30-60 хвилин), а отже і можливість їх оперативного перебезування, як в межах одного населеного пункту (наприклад, при загрозі артилерійської атаки), так і між населеними пунктами. Це відкриває можливості використання однієї системи по чергово для децентралізованого водопостачання в різних населених пунктах.

Зазвичай системи контейнерного типу та пересувні системи мають автономне джерело електроенергії (дизель-генератор або генератор/акумулятор автомобіля), а для систем невеликої потужності можуть використовуватися також і сонячні батареї. При цьому, за наявності електромережі поблизу місця розташування системи, повинна бути передбачена і можливість електроживлення від зовнішньої мережі.

В зимовому виконанні подібні водоочисні установки повинні бути закритими, мати відповідну теплоізоляцію та системи теплозабезпечення для запобігання замерзання води в трубопроводах у найхолодніші періоди року.

Що стосується технологічної схеми очищення води, то існують суттєво різні рішення, але для випадку України можуть бути застосовані лише наступні три принципи схеми.

1. Універсальна схема очищення води з поверхневих джерел включає:

- забірний пристрій для відкритих джерел (поплавковий, плаваючий, іншого типу);
- насос забору води;
- механічне передочищення;
- первинне знезараження води;
- щонайменше дві стадії обробки води: об'ємна коагуляція з відстоюванням + фільтрування; контактна коагуляція + фільтрування (дві ступені фільтрів);

- фільтрування на вугільних фільтрах;
- додаткове механічне очищення (опція);
- резервуар чистої води;
- вторинне знезараження води;
- насос подачі води для заповнення водовозів;
- система роздачі води в тару споживачів (опція).

2. Універсальна схема очищення води з підземних та поверхневих солоних джерел включає:

- всі елементи схеми з поверхневих джерел. В залежності від якості вихідної води та для економії реагентів та ресурсу системи в окремих варіантах допускається подача води байпасом повз окремі стадії;
- додаткову систему механічного очищення (опція за необхідності);
- систему дозування антискаланту;
- систему зворотного осмосу. При цьому необхідно передбачати можливість роботи в режимі підмішування вихідної води та/або мати також мінералізатор води (для корегування її мінерального складу);
- для забору води з підземних джерел або водопроводу – відповідні пристрої для підключення.

3. Схема очищення води в разі високої загрози хімічного/біологічного зараження. Ця схема аналогічна схемі з поверхневих джерел, але на першій стадії включає процес суперхлорування:

- введення хлорвмісного реагенту з концентрацією активного хлору до 100 мг/дм³;
- експозиція в окремому резервуарі протягом щонайменше 30 хвилин;
- дехлорування води більсульфітом натрію.

Слід зазначити, що вказана схема не може повністю гарантувати ефективне очищення води від всіх типів отруйних речовин, але дозволяє суттєво знизити ризики.

В окремих випадках, наприклад, при забрудненні води нітратами можуть застосовуватись додаткові стадії очищення води, але це скоріше виняток, ніж правило.

Контейнерні і пересувні системи очищення води виготовляються як за кордоном [15-17], так і вітчизняними виробниками,

серед яких, насамперед, необхідно відзначити «ІВІК Формула води», «Діфрано-юніон», «Екософт» [18-20]. При цьому слід вказати, що деякі із вказаних систем виготовляються за проектною документацією, розробленою викладачами та аспірантами кафедри Водопостачання та водовідведення КНУБА.

Для транспортування води до споживачів можуть використовуватись:

- спеціалізовані водовозні машини;
- спеціалізовані системи транспортування води на неспеціалізованому автотранспорті;
- неспеціалізовані автоцистерни (наприклад, молоковози);
- ємності для транспортування води, встановлені на неспеціалізованому автотранспорті.

Цілком очевидно, що найкращим рішенням є використання спеціалізованих водовозних машин, тобто автоцистерн (зазвичай з нержавіючої сталі), обладнаних системою роздачі води споживачам. Такий транспорт має спеціальне автомобільне шасі та гасильні пристрої для запобігання бовтанню води під час транспортування і відповідно перекидання автомобілю. В сучасних версіях водовозів додатково можуть бути встановлені системи знезараження та експрес-контролю якості води. Однак не зважаючи на високу вартість спеціалізованих водовозних машин як в Україні, так і в Європі, спостерігається значний дефіцит таких автомобілів. За прогнозами експертів навіть в разі достатнього фінансування наявні виробничі потужності не зможуть повністю покрити потреби українського ринку протягом найближчих трьох років.

Тому, більший інтерес на даний час представляють спеціалізовані системи транспортування води на неспеціалізованому автотранспорті. Вони заводського виготовлення, комплектні і мають набір ємностей та необхідного насосного обладнання, системи знезараження, шланги та інше обладнання, а також пристрої роздачі води (опціонально). Усе обладнання монтується на спеціальній рамі і може бути розміщено за допомогою автокрану у будь-якій бортовій вантажівці,

причепі (в т.ч. тракторному) тощо. Передбачена також досить широка лінійка ємності систем від 2 до 10 м³. У випадку зимового виконання системи і трубопроводу обв'язки перекриваються стінами з утеплювачем, передбачається також наявність калорифера. Системи спроектовані таким чином, що не впливають на стійкість бортових автомобілів, і дозволяють транспортувати ємності не тільки у заповненому, але й у напівзаповненому та спорожненому стані.

Перевагою подібних систем, з одного боку, є повна і гарантована функціональність на рівні спеціалізованих водовозів, а з іншого, дешевизна, тому що система може встановлюватися у будь-який бортовий кузов відповідної вантажності. Крім того, оскільки необхідність у значній кількості водовозних машин виникає не постійно, резерв таких систем може зберігатись на складі, а встановлення на шасі - лише за необхідності.

Одним з найбільших та досвідчених виробників вказаних систем в Україні є компанія «ІВІК Формула води».

Застосування неспеціалізованих автоцистерн для транспортування води мало місце, наприклад, в містах Харків і Миколаїв. Звичайно, мова не йшла про закупівлю цих цистерн – лише про їх тимчасове залучення для можливості оперативного забезпечення населення питною водою. Такі цистерни перед застосуванням потребують ретельного миття та глибокої дезінфекції. Але, як показує досвід, ризики вторинної контамінації води в цьому випадку залишаються високими, тому від їх використання слід відмовлятися за першої можливості.

Що стосується використання ємностей, встановлених на неспеціалізованому автотранспорті, то при всій простоті і дешевизні це рішення має свої «підводні камені». Перш за все, не всі ємності призначені для транспортування води. В разі застосування стаціонарних ємностей без спеціальних гасників, високою є вірогідність руйнування ємності під час транспортування, адже вона просто не розрахована на подібні навантаження. Крім того, в разі неправильної розстановки ємностей можлива втрата стійкості

автомобіля і виникнення аварійної ситуації; не виключена проблеми з розвантаженням води з ємностей; досить важко гарантувати надійне знезараження ємностей і відсутність в них бактеріального забруднення.

Роздача води в тару споживачів може бути організована трьома способами:

- в місці водозабору або очищення води;
- з водовозного транспорту;
- зі стаціонарних ємностей.

Перший варіант може бути реалізований лише у випадках, коли джерело водопостачання розташоване безпосередньо в населеному пункті, і відстань до найвіддаленішого місця поселення людей є незначною. Така ситуація зустрічається вкрай рідко.

Роздача з водовозного транспорту зазвичай застосовується водоканалами при припиненні централізованого водопостачання в окремих (невеликих) районах населеного пункту. Але у випадку переходу на децентралізоване водопостачання у всьому населеному пункті кількість доступних водовозних машин виявляється недостатньою. Тому виникає потреба встановлення у задалегідь визначених місцях (магазинах, громадських закладах, окремих МАФах та ін.) стаціонарних ємностей об'ємом 1-2 м³. Водовозні машини при цьому застосовуються лише для підвезення води до ємностей, а не безпосередньої роздачі води, що дає можливість обслуговування однією машиною набагато більшої кількості людей.

На практиці особливо у великих містах (як було у Миколаєві) може застосовуватися змішана схема роздачі води: в одних районах роздача води проводиться з установок очищення, в інших – зі стаціонарних ємностей або безпосередньо з водовозів.

Окремо повинна бути вирішена проблема забезпечення водою лікарень, шкіл та дитячих садочків, а також розвезення води маломобільним групам населення.

Досить важливим також є питання тари, у яку споживачі розбиратимуть воду.

Необхідно від початку роздачі води проінформувати на доступному рівні населення щодо необхідності чистоти застосованої тари. З іншого боку, у воді, що роздається, за рекомендаціями органів санепіднагляду

можна підтримувати дещо більшу дозу хлору або іншого знезаражуючого реагенту. Цікавим рішенням в цьому напрямі є також використання спеціальних багаторазових металізованих пакетів для води, які зсередини вкриті спеціальним металізованим покриттям, що не тільки перешкоджає росту мікроорганізмів, але й запобігає нагріванню води.

Отже, в будь-якому випадку питання переходу на децентралізоване водопостачання є комплексною геопросторовою задачею, вирішення якої потребує чіткого планування. Зазвичай розробка такого плану має передбачати:

- визначення на карті необхідних місць споживання води та її обсягів по кожному об'єкту (житловому будинку, багатоквартирній будівлі, підприємства критичної інфраструктури)
- вибір оптимальних місць улаштування пунктів роздачі води, визначення розмірів приміщень їх розташування;
- розрахунок сумарних потреб у воді;
- аналіз доступних джерел водопостачання, визначення якості води в них та підбір необхідної кількості та типу систем очищення;
- формування маршрутів підвезення води від джерел до точок роздачі, визначення необхідної кількості водовозного транспорту.

Виконання комплексу означених робіт повинно здійснюватися спеціалізованими науковими організаціями серед яких «Інститут комунальної інфраструктури», кафедра водопостачання та водовідведення КНУБА та ін.

ВИСНОВКИ

Підсумовуючи вищевикладене, можна зробити наступні основні висновки.

► Безперевні вже майже півтора роки військові дії в Україні створюють цілу низку ризиків, наслідком яких може бути зупинення централізованого водопостачання.

► В переважній більшості випадків це призведе до необхідності переходу на децентралізовану подачу води.

► Принципово децентралізоване водопостачання являє собою взаємозв'язану систему з трьох складових: джерела якісної води, водовозного транспорту та системи роздачі води в тару споживачів.

► Як джерела водопостачання можуть застосовуватись (за наявності) кондиційні підземні води або інші системи централізованого водопостачання. Але в переважній більшості випадків наявні вододжерела потребують застосування систем очищення води.

► Такі системи можуть бути стаціонарними, контейнерного типу або пересувними. Застосування стаціонарних систем в короткій перспективі обмежене необхідністю розробки проектно-кошторисної документації та проходження експертизи.

► Контейнерні і пересувні системи заводського виготовлення сконструйовані на основі комплексних рішень і можуть бути оперативно введені в експлуатацію одразу після доставки до місця розташування.

► Незважаючи на достатньо широкий асортимент подібних систем, не всі вони можуть бути ефективно застосовані в реальних умовах. У цій статті наведені три принципові технологічні схеми підготовки питної води, які є достатньо адекватними наявній якості природних вод, і можуть використовуватися у більшості регіонів країни.

► Аналіз ринку автотранспорту для доставки води виявив значний дефіцит спеціалізованих водовозних автоцистерн. Така ситуація збільшує попит на системи доставки води на неспеціалізованому транспорті, що фактично забезпечує всі переваги спеціалізованих автоцистерн з одночасним зниженням вартості транспортування за рахунок застосування бортових кузовів.

► Роздача води може здійснюватися як з водовозних машин, так і (враховуючи їх значний дефіцит) зі стаціонарних ємностей, які встановлюються у громадських або житлових будівлях.

► Оперативна та ефективна організація децентралізованого водопостачання можлива лише на основі геопросторового плану, який включає визначення джерел водопостачання, кількості і типу водоочисних

систем, оптимальних місць розташування точок роздачі води, кількості водовозного транспорту і маршрутів доставки води.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Статистична інформація** // Державна служба статистики України. URL: <https://ukrstat.gov.ua/> (дата звернення 15.07.2023)
2. **Богдан Т.** Фінансово-економічні наслідки війни // LB.ua: веб-сайт. URL: https://lb.ua/blog/tetiana_bohdan/550614_finansov_oekonomichni_naslidki.html (дата звернення 15.07.2023)
3. **Коваленко О.** Війна знищила 35% економіки України – ООН // УНІАН: веб-сайт. URL: <https://www.unian.ua/economics/finance/viyna-znishchila-35-ekonomiki-ukrajini-onn-12122658.html> (дата звернення 15.07.2023)
4. **Соколова Ю.** Наслідки підриву Каховської ГЕС: які населені пункти затопило – карта // Факти – веб-сайт. URL: <https://fakty.com.ua/ua/proisshestvija/20230612-pid-zagrozoju-zatoplennya-desyatky-naselenyh-punktiv-karta-naslidkiv-pidryvu-kahovskoyi-ges/> (дата звернення 10.07.2023)
5. **Новицький Д.** Чому фінансування водоканалів потребують перегляду навіть під час війни // Економічна правда: веб-сайт. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2022/07/11/689049/> (дата звернення 10.11.2022)
6. **Кравченко О., Хоружий В., Каніболоцький В.** Особливості експлуатації систем питного водопостачання в умовах воєнного часу // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2022. Вип. 38. С. 18-37. URL: <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.38.18-37>
7. **Карелін С.** Стейкі системи водопостачання. Готовність до надзвичайних ситуацій та умов воєнного стану. Рекомендації для територіальних громад // Агентство США з міжнародного розвитку (USAID), 2022. 19 с. URL: <https://decentralization.gov.ua/uploads/library/file/824/Water-Supply-Resilience.pdf>
8. **Бабаніна І.** Огляд ситуації з руйнуванням інфраструктури водопостачання та водовідведення у Донецькій області // Екологія. Право. Людина: веб-сайт. URL: <http://epl.org.ua/announces/oglyad-sytuatsiyi-z-rujnuvannyam-infrastruktury-vodopostachannya-ta-vodovidvedennya-u-donetskij-oblasti/> (дата звернення 10.07.2023)
9. **Новицький Д.** Як міжнародні організації дають воду постраждалим містам // Економічна правда: веб-сайт. URL:

<https://www.epravda.com.ua/columns/2022/12/16/695067/> (дата звернення 12.02.2023)

10. **ЮНІСЕФ** доставив обладнання для доставки та очищення води для підтримки понад 3 млн людей в Україні // UNICEF: веб-сайт. URL: <https://www.unicef.org/ukraine/press-releases/unicef-donates-water-and-hygiene-supplies-support-3-million-people-ukraine> (дата звернення 20.01.2023)

11. **Diao, K.** Towards resilient water supply in centralized control and decentralized execution mode // *Journal of Water Supply: Research and Technology u-Aqua*, 2021. 70(4), 449–466. <https://doi.org/10.2166/aqua.2021.162>

12. **Babu Ghimire, A., Parajuli, U., Bhusal, A., Parajuli, A., Banjara, M., & Shin, S.** Investigating a Diversified and Decentralized Water Distribution System to Enhance Water Supply Resilience to Disruptive Events // *World Environmental and Water Resources Congress 2023*. <https://doi.org/10.1061/9780784484852.087>

13. **Maryati, S., Firman, T., & Humaira, A. N. S.** A sustainability assessment of decentralized water supply systems in Bandung City, Indonesia // *Utilities Policy*, 2022. 76, 101373. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2022.101373>

14. **Cole, J., Sharvelle, S., Fourness, D., Grigg, N., Roesner, L., & Haukaas, J.** Centralized and Decentralized Strategies for Dual Water Supply: Case Study // *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2018. 144(1). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)wr.1943-5452.0000856](https://doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000856)

15. **Temporary mobile water treatment systems // Veolia:** веб-сайт. URL: <https://www.veoliawatertech.com/en/solutions/services/mobile-water-services>

16. **Mobile water treatment systems // Envirogen:** веб-сайт. URL: <https://www.envirogen.com/water-treatment-products/mobile-water-treatment-systems/>

17. **Water treatment plant in container – ready for use // Eurowater:** веб-сайт. URL: <https://www.eurowater.com/en/water-treatment-plants/water-treatment-in-container>

18. **Стендер П.** Контейнерні рішення складних проблем // *Планета H₂O:* веб-сайт. URL: <https://planetah2o.com.ua/this-is-interesting/kontejnerner-reshenija-slozhnih-problem/> (дата звернення 13.02.2023)

19. **Мобільні установки водопідготовки // Waterlux:** веб-сайт. URL: <https://waterlux.ua/catalog/mobilnye-ustanovki-vodopodgotovki/> (дата звернення 13.02.2023)

20. **Системи очистки води в екстремальних умовах // Формула води:** веб-сайт. URL:

<https://formulavody.com.ua/uk/sistemy-ochistki-vody-v-ekstremalnih-uslovijah/> (дата звернення 13.02.2023)

REFERENCES

1. **State Statistics Service of Ukraine (2023)** Statistical information Retrieved from <https://ukrstat.gov.ua/>
2. **Bohdan T. (2023, March 31)** Financial and economic consequences of the war. Retrieved from https://lb.ua/blog/tetiana_bohdan/550614_finansov_oekonomichni_naslidki.html
3. **Kovalenko O. (2023, January 26)** The war destroyed 35% of Ukraine's economy – UN. Retrieved from <https://www.unian.ua/economics/finance/viyana-znishchila-35-ekonomiki-ukrajini-oon-12122658.html>
4. **Sokolova Yu. (2023, June 12)** Consequences of blowing up Kakhovskaya HPP: which settlements were flooded - map. Retrieved from <https://fakty.com.ua/ua/proisshestvija/20230612-pid-zagrozoyu-zatoplennya-desyatky-naselenyh-punktiv-karta-naslidkiv-pidryvu-kahovskoyi-ges/> (дата звернення 10.07.2023)
5. **Novytskyi D. (2022, July 11)** Why the financing of water canals needs revision even during the war. Retrieved from <https://www.epravda.com.ua/columns/2022/07/11/689049/>
6. **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>
7. **Karelin S. (2022)** Sustainable water supply systems. Preparedness for emergencies and martial law conditions. Recommendations for territorial communities. Retrieved from <https://decentralization.gov.ua/uploads/library/file/824/Water-Supply-Resilience.pdf>
8. **Babanina I. (2023, March 21)** Overview of the situation with the destruction of water supply and drainage infrastructure in Donetsk region. Retrieved from <http://epl.org.ua/announces/oglyad-sytuatsiyi-z-rujnuvannyam-infrastruktury-vodopostachannya-ta-vodovidvedennya-u-donetskij-oblasti/>
9. **Novytskyi D. (2022, December 16)** How international organizations provide water to affected cities. Retrieved from <https://www.epravda.com.ua/columns/2022/12/16/695067/>

10. **UNICEF: Press release (2022, October 14)** UNICEF delivers water and hygiene supplies to support 3 million people in Ukraine. Retrieved from <https://www.unicef.org/ukraine/press-releases/unicef-donates-water-and-hygiene-supplies-support-3-million-people-ukraine>
11. **Diao, K. (2021)** Towards resilient water supply in centralized control and decentralized execution mode. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 70(4), 449–466. <https://doi.org/10.2166/aqua.2021.162>
12. **Babu Ghimire, A., Parajuli, U., Bhusal, A., Parajuli, A., Banjara, M., & Shin, S. (2023)** Investigating a Diversified and Decentralized Water Distribution System to Enhance Water Supply Resilience to Disruptive Events. *World Environmental and Water Resources Congress*. <https://doi.org/10.1061/9780784484852.087>
13. **Maryati, S., Firman, T., & Humaira, A. N. S. (2022)** A sustainability assessment of decentralized water supply systems in Bandung City, Indonesia. *Utilities Policy*, 76, 101373. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2022.101373>
14. **Cole, J., Sharvelle, S., Fourness, D., Grigg, N., Roesner, L., & Haukaas, J. (2018)** Centralized and Decentralized Strategies for Dual Water Supply: Case Study. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 144(1). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)wr.1943-5452.0000856](https://doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000856)
15. **Veolia (2023)** Temporary mobile water treatment systems. Retrieved from <https://www.veoliawatertech.com/en/solutions/services/mobile-water-services>
16. **Envirogen (2023)** Mobile water treatment systems. Retrieved from <https://www.envirogen.com/water-treatment-products/mobile-water-treatment-systems/>
17. **Eurowater (2023)** Water treatment plant in container – ready for use. Retrieved from <https://www.eurowater.com/en/water-treatment-plants/water-treatment-in-container>
18. **Stander P. (2018, December 16)** Container solutions to complex problems. Retrieved from <https://planetah2o.com.ua/this-is-interesting/kontejnernie-reshenija-slozhnih-problem/>
19. **Waterlux (2023)** Мобільні установки водопідготовки. Retrieved from <https://waterlux.ua/catalog/mobilnye-ustanovki-vodopodgotovki/>
20. **Water formula (2023)** Water purification systems in extreme conditions. Retrieved from <https://formulavody.com.ua/uk/sistemy-ochistki-vody-v-ekstremalnyh-uslovijah/>

Planning and organization of decentralized systems water supply in the war time in Ukraine

*Oleksandr Kravchenko, Tetiana Kuba, Svitlana Potapenko,
Victor Khoruzhy, Tetiana Arhatenko, Oleg Bakunovskyi*

Abstract. Centralized water supply systems have proven to be quite vulnerable during military operations, so it is important to develop a sound concept of decentralized water supply aimed at providing the population with drinking water in the absence of centralized water supply. Decentralized water supply is a system that includes sources of quality water, transport and water distribution systems to consumers.

Groundwater or centralized water supply systems can be used as sources of water supply. Water from natural sources mainly needs purification. Cleaning systems can be stationary, container-type or mobile. Despite a fairly wide range of such systems, not all of them can be effectively applied in real conditions. An analysis of the market of vehicles for water delivery revealed a significant shortage of specialized water-carrying tanker trucks. This situation increases the demand for water delivery systems on non-specialized transport, which actually provides all the advantages of specialized truck tankers with a simultaneous reduction in the cost of transportation through the use of on-board bodies. Water distribution can be carried out both from water trucks and from stationary tanks installed in public or residential buildings.

Operational and efficient organization of decentralized water supply is possible only on the basis of a geospatial plan, which includes the determination of water supply sources, the number and type of water treatment systems, optimal locations of water distribution points, the number of water transport vehicles and water delivery routes.

Key words: water supply system, decentralized water supply, water supply sources, water purification, water transportation, water distribution systems.

Стаття надійшла до редакції 20.06.2023