

ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ ПИТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ В УМОВАХ ВОЄННОГО ЧАСУ

Олександр Кравченко¹, Віктор Хоружий², Володимир Каніболоцький³

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

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

²докт. техн. наук, khoruzhyi.vp@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0002-5314-0483

³ПрАТ "Акціонерна компанія "Київводоканал" 1а, вул. Лейпцизька, м. Київ
vladimir130475@ukr.net

DOI: 10.32347/2524-0021.2022.38.18-37

Анотація. Військова агресія Російської федерації та протиправні дії агресора, направлені на цілеспрямоване руйнування цивільної інфраструктури, засвідчили вразливість систем централізованого водопостачання. Так, протягом лише кількох днів від початку війни повністю або частково залишались без водопостачання споживачі міст Маріуполь, Мелітополь, Волноваха, Чернігів, Суми та ін.

Крім гуманітарної катастрофи внаслідок воєнних дій, припинення централізованого водопостачання як фактор вразливості систем життєзабезпечення, активно використовувався окупантами в інформаційній війні для створення серед мирного населення панічних настроїв, деморалізації людей, розладу психічного стану тощо.

У даній статті проаналізовано основні фактори вразливості систем централізованого водопостачання в Україні, та запропоновано технічні і організаційні заходи щодо їх зменшення, які можуть бути реалізовані як в короткий термін, так і в довгостроковій перспективі.

Не слід розглядати фактор стійкості систем водопостачання в умовах військового часу як єдиний напрям планування їх розвитку, але останні події свідчать, що він, безумовно, відноситься до пріоритетних. Тому, напрацьовані в даній статті рекомендації можуть бути застосовані підприємствами водопостачання як в оперативній діяльності, так і при стратегічному плануванні розвитку систем водопостачання в майбутньому, зокрема під час розробки схем оптимізації.

Ключові слова: системи водопостачання, водозабірні споруди, насосні станції, водопровідні мережі, водоочищення.

ВСТУП

Найбільш вірогідними причинами припинення, або значного зменшення централізованого водопостачання та/або погіршення якості питної води під час воєнних дій можуть бути наступні.

1. Безпосереднє ураження об'єктів або елементів систем водопостачання.

2. Ураження або пошкодження сумісних систем, насамперед, відключення електроенергії.

3. Погіршення якості вихідної води внаслідок техногенних причин або умисного отруєння джерел водопостачання

4. Відсутність або суттєва нестача персоналу необхідної кваліфікації (через неможливість дістатися до об'єкту, евакуацію, загибель тощо).

5. Нестача реагентів внаслідок неможливості їх поставки.

6. Вірогідність техногенної небезпеки як супутній фактор ураження об'єктів водопостачання

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Розглянемо причини припинення централізованого водопостачання.

I. Безпосереднє ураження об'єктів або елементів систем водопостачання.

Хоча Женевська конвенція прямо забороняє нанесення ударів по системах життєзабезпечення населених пунктів і в тому числі системам водопостачання, бойові дії 2022 р., як і дії російського агресора у Донецькій та Луганській областях у 2014 р., підтвердили на практиці, що об'єкти водоканалів часто стають безпосередніми або опосередкованими мішенями для ударів різними видами озброєння: авіаційного, ракетного, залпової артилерії та ін. Тому актуальними постають питання, по-перше, зниження вірогідності виведення з ладу елементів систем водопостачання, і, по-друге, зменшення наслідків, якщо таке ураження відбудеться.

Перше, що спадає на думку, для зменшення вірогідності ураження об'єктів потрібно збереження у таємниці координат їх розташування. Ще з часів Радянського Союзу продовжує діяти ряд нормативних актів, які вимагають таємного (в окремих випадках – для службового користування) збереження координат об'єктів водопостачання. Але в реаліях сьогодення це скоріше атавізм минулого, ніж реальний спосіб захисту. При сучасному розвитку цифрових технологій визначити на супутникових знімках місце розташування водоочисної станції можна без будь-яких спеціальних знань. Більше того, на картах подібні об'єкти, як правило, взагалі підписані. При цьому точність подібних карт є більш ніж достатньою для наведення зброї, а тому збереження секретності координат втрачає сенс.

Саме з цього виходять, наприклад, і вимоги Закону України про просторові дані, який, крім іншого вимагає нанесення на публічну кадастрову карту зон санітарної охорони об'єктів водопостачання, по яких можна досить легко визначити координати самих об'єктів.

Дещо інша ситуація з насосними станціями і підземними водозаборами, які на

карті визначити набагато важче (хоча на ряді відкритих карт вони все одно підписані). Такі об'єкти є більш стійкими при потраплянні снарядів, а отже часто не є мішенями для ураження. Що стосується підземних комунікацій, то досвід вказує, що вони теж досить часто можуть бути вражені побічно, особливо у місцях запеклих боїв. Як приклад можна навести руйнування водоводів КП «Вода Донбасу» в районі Донецького аеропорту.

Таким чином, оскільки знизити вірогідність ураження об'єктів систем водопостачання через приховування місць їх розташування практично неможливо, доцільно зосередитись на зменшенні негативного впливу при ураженні об'єкту.

Ключовим підходом в цьому напрямі є дублювання цілих об'єктів (створення додаткових водозаборів, водоочисних споруд, глибоке кільцювання мереж, створення резервних насосних станцій тощо), а також дублювання (резервування) обладнання на одному об'єкті. Якщо створення резервних об'єктів є предметом довгострокового планування, то здійснити резервування ключового обладнання можна і в досить короткий термін. Крім того, резервування насосів є обов'язковим згідно вимог чинних ДБН.

При ураженні об'єкту, наприклад насосної станції, з високою вірогідністю буде ушкоджено не все обладнання, а лише окремі його одиниці, що дає можливість перейти на використання резервного. Інша справа, що на практиці при модернізації насосних станцій заміні часто підлягають лише робочі насоси, а застаріле мало енергоефективне обладнання залишається в резерві. Але в умовах військового часу цілком достатньо, щоб резервне обладнання було працездатним і забезпечувало необхідні показники витрат і напору, а їх низька енергоефективність не становить ключової проблеми.

Для великих систем резервування може проводитись не тільки в рамках кожної НС, але й (за умови схожих характеристик) на підприємстві в цілому. В такому випадку при руйнуванні насосу він може бути замінений резервом з іншої

насосної станції або зі складу. Очевидно, що при цьому всі необхідні комунікації, фундаменти і обв'язка резервних насосів повинні перебувати в працездатному стані.

Зменшити ступінь ураження насосної станції при попаданні снаряду також можна при виконанні спеціальних будівельних заходів, наприклад, створенням автономних ліній обв'язки насосів, рознесення основних і дублюючих насосів по різних машинних залах тощо.

Сучасні системи управління насосними станціями, автоматизації, плавного пуску, ПЧТ тощо також є досить чутливими для ураження. Для таких систем слід передбачати відповідний резерв або можливість виведення їх з експлуатації при аварії і перехід на роботу в ручному режимі.

Що стосується водоочисних станцій, то вірогідним варіантом є ураження лише частини очисних споруд. Враховуючи чинні вимоги ДБН, майже все очисне обладнання і споруди на ВОС обов'язково дублюються, при цьому продуктивність підбирається таким чином, щоби у разі відключення однієї споруди (одиниці обладнання), проектна продуктивність станції зберігалась. Додатковий запас створюється також за рахунок РЧВ.

Крім того, слід звернути увагу на значну недозавантаженість очисних споруд, а отже наявність «природного» резерву потужностей. З іншого боку, тотожні однакові очисні споруди, як правило, збираються в блоки, що у випадку порівняно великої території ураження, може призвести до виведення з ладу всіх споруд одного призначення. З цієї точки зору двоступеневі станції очищення (відстійники - швидкі фільтри) мають значні переваги над одноступеневими схемами, адже в особливих режимах одна ступінь очищення може прийняти на себе функції іншої.

Набагато гіршими можуть бути результати ураження складів реагентів та систем знезараження. Крім того, що аварія на складі хлору може призвести до техногенної катастрофи, забезпечення знезараження води в системі водопідготовки

завжди визначається більш пріоритетним, ніж навіть досягнення якості за фізико-хімічними показниками [настанови ВООЗ]. Іншими словами, подача води з відхиленням за фізико-хімічними показниками може тимчасово допускатися, в той час як відсутність знезараження води з високою вірогідністю може призвести до виникнення епідемічних ситуацій.

Важливою особливістю роботи підприємств водопостачання під час бойових дій є також особливий гідравлічний режим роботи розподільних мереж. Наприклад, в березні 2022 р. за даними ПрАТ «АК «Київводоканал» в м. Київ спостерігалось надзвичайно мале водоспоживання, що зумовлено зупинкою багатьох підприємств та евакуацією частини населення міста. Очевидно, що за таких умов значно знижуються швидкості руху води і час перебування в мережі, що може призводити до погіршення її якості. З іншого боку, зменшення гідравлічного навантаження дає можливість виведення додаткової кількості насосів в резерв і створення потенціалу для заміни ними ураженого обладнання.

В той же період у населених пунктах України, куди відбулась евакуація, спостерігалось значне підвищення водоспоживання, що, безумовно, також відобразилось на гідравлічному режимі роботи мереж.

Для забезпечення ефективного керування системою в такому режимі доцільно здійснити його попереднє гідравлічне моделювання на основі ГІС, а також оцінити можливі сценарії ураження об'єктів, їх наслідки та сформувані відповідний план дій.

Збільшення часу перебування води в мережі при особливому гідравлічному режимі створює небезпеку елімінації знезаражуючого агенту та вторинної контамінації води. Це потребує коригування доз знезаражуючих реагентів на основі моделювання якості води.

Необхідно врахувати, що в умовах воєнного часу, населення буде створювати деякий запас води на випадок тимчасового її відключення. Ця вода зазвичай зберігатиметься у неспеціалізованій

відкритій тарі, яка попередньо не знезаражується. Термін придатності такої води прямо пропорційний часу елімінації знезаражуючого реагенту і відповідно його дозі у воді з під крану. Отже, на час військових дій, особливо в разі загрози відключення великої кількості споживачів, доцільно розглянути питання певного збільшення залишкової концентрації знезаражуючих реагентів (але в межах ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною»).

У довгостроковій перспективі корисною практикою є створення додаткових точок знезараження води на мережах та/або використання діоксиду хлору, який має набагато більший час елімінації у порівнянні з іншими хлорвмісними реагентами.

Якщо подача води в окремі райони населеного пункту стає технічно неможливою, доцільно розглянути варіанти застосування альтернативного водопостачання: бюветних комплексів (за наявності), локальних відомчих свердловин з системами доочищення (за необхідності) та знезараження, а також привізної води з інших районів населеного пункту.

Таким чином, оперативні дії, направлені на зменшення вірогідності безпосереднього ураження елементів водопостачання та скорочення негативних наслідків полягають в наступному:

➤ чітке розуміння можливості виникнення у воєнний час особливого гідравлічного режиму, підбір максимально ефективних параметрів роботи насосних агрегатів та обладнання на мережах;

➤ при ураженні окремого обладнання насосних станцій – здійснення у найкоротші строки його заміни резервним з цієї ж НС, іншої НС або із зовнішнього складу;

➤ при повному виведенні з ладу насосних станцій – організація подачі води максимальній кількості споживачів за рахунок інших джерел водопостачання і НС;

➤ перехід на особливий режим знезараження з урахуванням гідравлічного

режиму роботи системи та можливості створення населенням запасів води;

➤ у разі ураження окремих елементів водоочисних станцій перейти на експлуатацію резервного обладнання і споруд, а також на спеціальні режими застосування реагентів.

При довгостроковому плануванні розвитку систем водопостачання зменшення вірогідності безпосереднього ураження її окремих елементів та зменшення негативних наслідків передбачає впровадження наступних заходів.

1. Створення максимально можливого дублювання ключових елементів систем очищення і розподілення води. Найкраще – застосування різних джерел водопостачання з окремими водоочисними станціями і незалежними системами транспортування води до населеного пункту (резервування елементів системи).

2. Забезпечення максимального кільцювання розподільних мереж та підбір резервного насосного обладнання з урахуванням можливості постачання води споживачам за рахунок альтернативних насосних станцій.

3. Забезпечення повного дублювання всіх ключових водоводів.

4. Встановлення на державному рівні вимог стосовно доступу до інформації про координати основних об'єктів систем водопостачання з урахуванням сучасних можливостей їх одержання з супутникових карт та інших відкритих джерел.

5. Відпрацювання на основі ГІС та гідравлічної моделі всіх можливих сценаріїв ураження елементів системи водопостачання, та розробка чіткої послідовності дій для кожного з випадків. При цьому планування заміни насосного обладнання має проводитись з урахуванням забезпечення їх працездатності при всіх досліджених сценаріях.

6. Підтримання всього резервного обладнання в працездатному стані.

7. Максимальний розвиток сучасних систем знезараження води з пріоритетним використанням реагентів з великим часом елімінації, наприклад, діоксиду хлору.

8. Розвиток основних та резервних систем знезараження води на розподільних мережах.

9. Прогнозування якості води при різних сценаріях на основі ГІС та гідравлічної моделі, як мінімум за показником залишкового вмісту знезаражуючих агентів.

10. Урахування параметру стійкості у воєнних умовах при проектуванні споруд і елементів водопостачання. Наприклад, застосування замість блокування споруд, розташування їх окремими чергами, рознесення груп насосів в різних машинних залах, а також застосування більш надійних рішень (наприклад, підземних насосних станцій).

II. Ураження або пошкодження сумісних систем, насамперед, відключення електроенергії.

Крім безпосереднього ураження об'єктів водопостачання найбільш ймовірною причиною виведення їх з ладу є відключення електроенергії. Питання підтримання стабільності електроенергетичної системи країни та окремого регіону в умовах війни є набагато ширшим, ніж предмет цієї статті. Водночас доцільно розглянути ключові наслідки і приділити увагу рекомендаціям на випадок відключення подачі електроенергії на різні об'єкти водопостачання.

В першу чергу уразливими до відключення електроенергії виявляються насосні станції, адже без електроенергії вони не працюватимуть. Потрібно також враховувати, що діючі насосні станції є достатньо потужними, а отже застосувати альтернативні рішення щодо їх заміни (приміром, дизель-генератори) за даних умов навряд чи вдасться. В той же час в переважній більшості випадків насосні станції великих населених пунктів запроектовані за першим класом надійності, що передбачає наявність двох незалежних введів електроенергії. В разі відключення лише одного з введів, оперативне завдання полягає у якнайшвидшому переході на другий вхід. Сучасні системи управління насосами, як правило, вже

містять необхідне обладнання для такого переключення.

Якщо будуть вимкнені обидва джерела електроенергії, єдине що може і повинно зробити підприємство, правильно спрогнозувати на основі ГІС перелік споживачів, у яких відбудеться відключення водопостачання та/або спостерігатиметься зниження тиску у мережі. Про останнє особливо важливо повідомити органи ДСНС, оскільки це може впливати на умови пожежогасіння.

За можливості слід також збалансувати гідравлічний режим роботи системи через залучення інших насосних станцій, і забезпечити постачання води хоча б частині споживачів. Докладно це питання обговорене вище.

Окремо слід розглянути випадок знеструмлення окремих підвищувальних насосних станцій, зокрема, внутрішньобудинкових. За таких умов, хоча у зовнішніх мережах водопостачання буде забезпечений необхідний тиск води, вода все одно не зможе підійматися до верхніх поверхів. Водоканал повинен на основі ГІС (незалежно від балансової належності НС) сформулювати повний перелік споживачів, які будуть відключені. Цим споживачам необхідно надіслати відповідні попередження та організувати роздачу води у спеціальному пункті або забезпечити споживачів привізною водою.

Знеструмлення водоочисних станцій також призводить до суттєвих порушень режиму їх роботи: разом з ВОС скоріш за все припиниться також подача електроенергії на насосну станцію II-підйому. Проте, навіть при її знеструмленні і за умови роботи насосної станції I-підйому ВОС може працювати «на резервуар», звідки очищена вода забирається, наприклад, автомобілями для розвезення населенню.

Переважна більшість очисних споруд з поверхневим водозабором в Україні побудовані за висотною схемою, яка забезпечує можливість самопливного транспортування води між спорудами. В той же час енергозалежними залишаються насоси-дозатори реагентів, хлоратори, деякі типи змішувачів, системи приготування

реагентів, безпеки і управління процесами. Також електроенергія зазвичай потрібна для проведення періодичної промивки фільтрів. В той же час необхідні потужності для цих процесів набагато менші у порівнянні, наприклад, з потужністю НС-I та НС-II. Тому, в перспективі це обладнання може бути забезпечене за рахунок альтернативних джерел електропостачання, зокрема, генераторів.

Слід також зауважити, що процеси застосування деяких реагентів, такі як отримання хлору електролізом, діоксиду хлору, озону, УФ-опромінення та ін., є енергозалежними високої потужності і будуть припинені в разі знеструмлення.

Єдиним методом знезараження, який може бути організований за рахунок альтернативного постачання електроенергії, є дозування товарного розчину гіпохлориту натрію, оскільки насоси-дозатори є мало енергоємними і можуть живитись від генераторів. В той же час, використання гіпохлориту натрію як резервного реагенту на випадок військових дій, є досить коштовним заходом, адже його концентрований розчин помітно втрачає активність у часі. Корисним в цьому випадку може бути зберігання певної кількості розведеного (електролізного) гіпохлориту натрію, оскільки такий розчин є більш стійким і не втрачає своєї активності. Якщо відключення від електроенергії буде порівняно нетривалим, кількість ємностей на час зберігання можна розраховувати приблизно на 3-5 діб.

Що стосується більш сучасних способів кондиціювання води: напірної фільтрації, іонообмінних і сорбційних методів, мембранних технологій – то всі вони також є енергозалежними і не можуть бути застосовані при відключенні електроенергії.

Враховуючи вищевикладене, оперативні дії підприємств водопостачання при знеструмленні об'єктів полягають у наступному:

➤ максимально оперативно (бажано в автоматичному режимі) за допомогою ГС або в інший спосіб визначити, які конкретно об'єкти знеструмлені, а для

об'єктів першої категорії надійності – які саме входять знеструмлені;

➤ для об'єктів першої категорії при знеструмленні одного входу – перейти на резервний вхід;

➤ при повній відсутності електроенергії на всіх входах НС, визначити зону негативного впливу, тобто перелік споживачів, яким вода не подаватиметься або подаватиметься з недостатнім тиском. Проінформувати про результати усі відповідні служби, зокрема, ДСНС;

➤ за можливості частково скоригувати гідравлічний режим роботи системи за рахунок зміни режимів роботи інших насосних станцій;

➤ при знеструмленні водоочисної станції оцінити можливість її експлуатації з використанням альтернативних джерел живлення (генераторів) та вплив на якість очищеної води;

➤ за можливості здійснювати знезараження води привізним гіпохлоритом натрію або запасами його розведеного розчину (якщо реагент є на станції), використовуючи генератори;

➤ у разі неможливості забезпечення належної якості води, припинити роботу ВОС і зберегти запас якісної води в РЧВ;

➤ вода з РЧВ, навіть за відсутності електропостачання НС-II, може бути використана для доставки автомобільним транспортом.

На довгострокову перспективу можна запропонувати наступні ключові заходи.

1. Розробка детальних планів роботи в умовах повної та часткової відмови електропостачання на різних об'єктах підприємств водопостачання.

2. Впровадження систем автоматичного переходу на резервний вхід електроенергії при знеструмленні основного; постійне підтримання резервних входів в працездатному стані.

3. Встановлення на всіх об'єктах, де це технологічно можливо і доцільно, альтернативних джерел струму – генераторів із забезпеченням зберігання необхідного запасу палива для них.

4. Забезпечення автоматичного обміну даними з енергопостачальними

компаніями задля можливості прогнозування переліку об'єктів, які підлягають знеструмленню, а також переліку споживачів, для яких відбувається відключення та/або падіння тиску води.

5. Передбачення у ГІС можливості прогнозування відключення ПНС незалежно від їх балансової приналежності та створення планів реагування на такі відключення.

6. Створення резервних систем знезараження води гіпохлоритом натрію (привізним або запасом електролізного продукту), обладнаних генераторами для насосів-дозаторів.

7. Інші заходи, спрямовані на резервування об'єктів водопостачання.

III. Погіршення якості вихідної води внаслідок техногенних причин або умисного отруєння джерел водопостачання

Такі дії ворога, безсумнівно, протирічать Женевській конвенції, проте реалії 2022 року чітко продемонстрували, що подібні ситуації не можуть бути виключені. При цьому цілком вірогідним сценарієм може бути забруднення поверхневих водойм радіоактивними викидами при аваріях на АЕС.

У випадку різкого погіршення якості водного джерела ключова задача водопостачання зводиться не до забезпечення якості води усього її обсягу в системі, але хоча би кількості, достатній для пиття і приготування їжі, тобто в середньому 5 л/добу на 1 особу.

Вирішальною вихідною інформацією в такій ситуації є час потрапляння забруднень на водозабір та їх прогнознi концентрації у воді. Зрозуміло, що забруднення розповсюджуються в поверхневих водоймах з певною швидкістю (такі розрахунки проводяться при улаштуванні меж поясів зон санітарної охорони). Але потрібно враховувати, що джерело викиду може бути розташоване далеко за межами цих поясів. Питання моделювання сценарію такого забруднення не входить до компетенції самого водоканалу, скоріше Держводагенства, але без отримання цієї інформації забезпечити ефективні дії

практично неможливо. Звичайно, що прогнозні дані є орієнтовними, і в умовах подібної небезпеки повинні постійно уточнюватися реальними аналізами води в районі водозабору.

Після отримання прогнозних даних щодо вірогідного погіршення якості води можна спланувати подальшу діяльність підприємства або скористатись попередньо підготовленим планом. Такі плани, хоча б для найбільш ймовірних випадків, повинні бути відпрацьовані заздалегідь.

За наявності кількох водозаборів, на одному з яких може спостерігатись забруднення, слід оцінити варіанти забезпечення населення якісною водою за рахунок інших водозаборів шляхом перерозподілу води в мережах. Якщо повністю покрити потреби населення у воді неможливо, необхідно передбачити доставку води для пиття і приготування, наприклад, автотранспортом або іншими засобами.

Враховуючи, що підземні водозабори зазвичай більш захищені ніж поверхневі і часто не потребують очищення води, крім знезараження, саме їх використання як резервних, є пріоритетним. Тому, при довгостроковому плануванні доцільно відмовлятися від тампонування свердловин з переведенням їх у «гарячий резерв» з можливістю розконсервування у надзвичайних ситуаціях в короткий термін.

Вода деяких законсервованих підземних джерел може відрізнитись від вимог ДСанПіН 2.2.4-171-10, в першу чергу, за показниками солевмісту, жорсткості та заліза. При плануванні застосування таких свердловин доцільно на основі ГІС змоделювати якість змішаної води з окремих джерел в різних точках мережі, а, якщо вода подається децентралізовано, розглянути можливість її змішування з водою інших джерел, або її часткового доочищення. В будь-якому випадку в умовах надзвичайної ситуації і перспективи нетривалого використання, вода з незначними відхиленнями по вказаних показниках може застосовуватись для питних цілей.

Для роздачі води може використовуватись як автомобільний транспорт, так і

існуючі системи розливу води (бювети, колонки, фонтанчики). При довгостроковому плануванні кількість і продуктивність таких систем повинні виходити з розрахунку на 1 людину – 5 л на добу.

Слід зазначити, що в ряді населених пунктів існують бюветні комплекси, які підключені до систем централізованого водопостачання і мають власну систему доочищення води. Їх можна застосовувати, якщо в мережу подається забруднена вода, але лише у випадках, коли технологія доочищення відповідає ряду вимог.

Найбільш ефективними способами для видалення багатьох забруднень, в т.ч. радіоактивних та отруйних речовин, вважаються фільтрування води на вугільних фільтрах та системах зворотного осмосу. При цьому вся вода повинна проходити очищення, і підмішування вихідної води не допускається. Отримана в такий спосіб вода характеризується недостатнім вмістом солей і відповідно до ДСанПіН 2.2.4-171-10 відноситься до фізіологічно неповноцінної. Для споживання такої води потрібно обов'язкове коригування її мінеральної складової. Отже, системи доочищення води можуть бути застосовані лише у випадку, коли в них наявні як мінімум стадії вугільної фільтрації, зворотного осмосу та штучної мінералізації.

В разі, якщо альтернативні системи водопостачання недоступні або недостатні для забезпечення населення, необхідно максимально ефективно використати запас води, відібраної в систему до початку погіршення її якості. Для цього в довгостроковій перспективі необхідно забезпечити максимальний розвиток резервуарного парку. Досвід розвинутих країн свідчить про необхідність об'ємів РЧВ хоча би для 12-годинного запасу води при повній продуктивності станції. Оскільки, як згадувалось раніше, водоспоживання у періоди воєнних дій помітно скорочується, час автономної роботи системи збільшується.

Ще більш тривалий час можна використовувати запас води у разі введення обмежень на обсяги її споживання, наприклад, шляхом роздачі води лише в

кількості для пиття і приготування їжі. Слід також звернути увагу, що переведення людей на погодинну подачу води (принаймні без спеціальних роз'яснювальних заходів) не призводить до економії води: люди намагатимуться створити додаткові запаси води, що взагалі може призвести до збільшення водоспоживання.

При введенні обмежень на водоспоживання необхідно також враховувати термін придатності води, інформувати про нього населення, а за можливості - забезпечувати додаткове знезараження води.

Для розробки достовірних прогнозів доцільно оцінити загальний запас води у мережі водопостачання, який крім безпосереднього об'єму РЧВ, включає також об'єми резервуарів розподільної мережі та води, якою заповнені трубопроводи. Цей параметр може бути розрахований на основі сучасних ГІС. Відповідно, при розвитку мереж доцільно передбачати розширення резервуарного парку на них.

Ще одним варіантом може бути також створення запасу неочищеної води в місцях водозабору. При використанні ковшових водозаборів в ряді випадків можливе перекриття подачі води на водозабір штучними водонепроникними ґратами. В такому випадку є перспектива зберігання значних об'ємів неочищеної (вихідної) води без забруднень, яка потім може бути очищена на ВОС у звичайному режимі. Схожу функцію виконують системи басейнів зі штучним поповненням води.

В разі неможливості постачання якісної води з централізованих систем для забезпечення населення водою можуть застосовуватися пересувні комплексні системи очищення і розливу води, наприклад, розроблені ТОВ «ІВІК Формула води» у співпраці з Інститутом комунальної інфраструктури, КНУБА та НТУУ «КПІ». Такі водоочисні комплекси виготовляються в Україні заводським способом і монтуються в автомобільні контейнери. Кожна одиниця водоочисного комплексу забезпечена: технологічним обладнанням для очищення води, підсистемами забору та розливу води, автономною системою підтримання її працездатності. Забір води може здійснюватися з

поверхневих водойм через гнучкий шланг без створення спеціальних водозабірних споруд.

Технологічне очисне обладнання підбрано таким чином, що забезпечує гарантовану якість води на рівні вимог ДСанПіН 2.2.4-171-10 при її заборі з переважної більшості поверхневих та підземних джерел водопостачання України, в т.ч. і у разі їх штучного забруднення. Продуктивність технологічного обладнання складає 4 м³/год, що при цілодобовому режимі роботи здатне забезпечити водою для пиття і приготування їжі майже 19 тис. осіб.

Роздача очищеної води може здійснюватися кількома шляхами: розлив води у автоцистерни, безпосередня роздача військовослужбовцям та мирному населенню у тару багаторазового використання, одноразову ПЕТ-тару (виготовлену на місці) або у паперово-металеві контейнери для тривалого зберігання води.

Вказані водоочисні комплекси живляться від дизель-генераторів і не потребують зовнішнього джерела електроенергії. Їх додатковою перевагою є можливість перевезення цивільним і військовим транспортом, і дуже швидкий монтаж та запуск в робочий режим, який не перевищує 1-2 годин.

Таким чином, оперативні дії підприємств водопостачання у випадку різкого погіршення якості води в джерелі полягають в наступному:

➤ отримання своєчасної достовірної інформації про вірогідний час надходження забруднень та прогнозування величини ключових показників забруднення води в перспективі. Забезпечення постійного і безперервного моніторингу якості води за ключовими показниками в районі водозабору та в очищеній воді;

➤ всебічний аналіз отриманих даних для прийняти рішення щодо варіанту наступних дій в ситуації, що склалася: перехід на постачання води з інших водозаборів або на децентралізоване забезпечення водою, їх комбінація. Детальне моделювання на основі ГІС наявної ситуації з визначенням які споживачі і яким чином

будуть отримувати воду протягом всього часу погіршення якості води у джерелі;

➤ своєчасне інформування споживачів про відключення, надання карти місць роздачі води і т.п.;

➤ до погіршення якості води в районі водозабору максимальне заповнення РЧВ очищеною водою; коригування при цьому режиму знезараження, беручи до уваги збільшення часу перебування води в системі. Вжиття заходів для припинення забору води при погіршенні її якості;

➤ за можливості зберігання певного запасу вихідної (неочищеної) води, приміром, шляхом припинення подачі води у водозабірний ковш, наповнення цих споруд водою до погіршення її якості;

➤ в залежності від ситуації перехід на децентралізоване забезпечення населення водою із застосуванням бюветних комплексів, систем доочищення та/або привізної води;

➤ застосування, за можливості, пересувних комплексних систем очищення і розливу води;

➤ постійне інформування населення про способи та місця отримання води, вжиття заходів щодо запобігання паніці.

При стратегічному плануванні розвитку систем водопостачання підготовка до роботи в умовах різкого погіршення якості вихідної води повинна включати наступні заходи.

1. Розробка на рівні Держводагентства сценарних прогнозів розповсюдження забруднень при різних варіантах техногенних катастроф, насамперед, об'єктів атомної енергетики. При цьому особливо важливо визначення часу розповсюдження забруднень в районах поверхневих водозаборів та їх вірогідних концентрацій.

2. Забезпечення (за можливості) резервного джерела (джерел) водопостачання, потужність якого є достатньою для централізованого водопостачання у воєнний час, але як мінімум - достатньою для пиття і приготування їжі.

3. За відсутності резервних джерел, максимальний розвиток резервуарного парку, в т.ч. РЧВ, об'єм яких повинен

відповідати щонайменше 12-годинній подачі води, а також резервуарів на мережах.

4. Створення (за можливості) запасу вихідної води шляхом запобігання подачі забрудненої води у водозабірні споруди (ковші).

5. Створення альтернативних систем постачання питної води (наприклад, на основі бюветних комплексів), пунктів розливу та ін., розвиток парку цистерн для доставки привізної води.

6. Розвиток достатньої кількості систем доочищення води, спроможних забезпечувати видалення з води можливих забруднень при збереженні її фізіологічної повноцінності. Зазвичай такі системи повинні включати стадію вугільної фільтрації, зворотного осмосу та мінералізації води.

7. Створення парку пересувних комплексів підготовки та розливу води в необхідній кількості.

8. Відпрацювання на основі ГІС можливих сценаріїв забезпечення населення водою з детальним моделюванням місць розташування пунктів роздачі води, об'ємів запасу води і часу, на які їх вистачить, режимів роботи споруд і об'єктів системи тощо.

IV. Відсутність або суттєва нестача персоналу необхідної кваліфікації (через неможливість дістатися до об'єкту, евакуацію, загибель тощо).

Війна, розпочата російським агресором у лютому 2022 р., висвітлила також і проблему нестачі необхідного персоналу водоканалів в населених пунктах, розташованих в районах бойових дій. У цей період спостерігається значна міграція населення: люди евакуюються, вступають до лав збройних сил або територіальної оборони, перебувають у стресовому стані, гинуть. За офіційними даними у м. Київ населення скоротилось більше ніж вдвічі, що, безумовно, відображується і на кількості доступного кваліфікованого персоналу. Крім того, суттєві проблеми виникають і з транспортуванням людей з пригородів міста.

Найбільший і найкритичніший дефіцит кадрів відбувся у складі аварійно-ремонтного персоналу, де через нестачу людей доводилось працювати по 2-3 зміни підряд, і все одно кількість бригад залишалась недостатньою. І лише завдяки мужності співробітників підприємств ВКГ вдалось підтримувати системи в працездатному стані. Схожа ситуація була характерною для всіх водоканалів України.

В той же час, необхідно відзначити, що водоканали практично не звертались по допомогу до волонтерських організацій в пошуку кадрів та/або у виконанні окремих видів робіт.

Це можливо пояснюється специфічністю завдань, які вирішує водоканал, і відповідно необхідністю спеціальної підготовки персоналу. До певної міри це вірно, але слід врахувати що нестача працівників, насамперед, торкнулась як раз лінійного персоналу, зокрема, слюсарів. Знайти необхідну кількість людей суміжних спеціальностей та провести для них навчання не здається такою вже складною задачею у порівнянні з іншими завданнями, які успішно розв'язувались волонтерськими організаціями.

Процес підготовки кадрів (і особливо – швидкої підготовки у воєнний час) необхідно планово готувати і стандартизувати. Ці процеси полягають у стандартизації діяльності кожного працівника (визначення стандартних операцій, послідовностей дій, хороших практик тощо), відображених у посадових інструкціях. При цьому доцільно супроводжувати посадові інструкції методичними матеріалами, які вміщують інфографіку, навчальні відео, тощо.

До речі, аналогічна стандартизація діяльності співробітників, як правило, здійснюється також при підготовці підприємства до впровадження міжнародних стандартів діяльності, таких як Стандарт якості ISO 9001.

Що стосується безпосередньо програм швидкої підготовки, то їх варто розробляти за участі профільних ВУЗів України, зокрема КНУБА. Безпосереднє проведення занять за розробленими

програмами може здійснюватися як викладачами ВУЗів дистанційно або спеціалістами самого підприємства, так і сумісно обома установами.

Додаткової вмотивованості потенційних працівників водоканалу можна досягти шляхом інформування людей про те, що такі спеціалісти мають військову бронь. Це може зацікавити людей, які з релігійних або інших міркувань не хочуть приймати безпосередню участь у воєнних діях, але підпадають під загальну мобілізацію.

Важливо також забезпечити стабільні умови транспортування працівників до та з місця роботи в умовах дії комендантської години. Це може вирішуватися коригуванням змінного режиму або залученням для доставки людей спеціального транспорту, забезпеченого спецперепустками для роботи під час комендантської години. Для планування оптимальних маршрутів також можуть бути застосовані ГІС.

Брак висококваліфікованих і управлінських кадрів в певній мірі можна компенсувати шляхом підвищення ефективності їх роботи і, в першу чергу, створенням оперативних каналів зв'язку. Досвід роботи у лютому-березні 2022 р. показав можливість організації таких каналів підприємствами. В той же час, канали створювались скоріше стихійно, ніж планово. Стандартизація каналів зв'язку, їх перевірки компетентними органами з питань кібербезпеки, стійкості та доступності могли б додатково збільшити ефективність комунікації.

Таким чином, оперативні дії водоканалу, спрямовані на запобігання скорочення персоналу, можуть бути наступними:

- визначення точного переліку додатково необхідних працівників різної кваліфікації;
- звернення до волонтерських організацій з питання залучення необхідних людей та/або делегування ним окремих конкретних завдань;
- інформування людей різними каналами зв'язку про можливість

отримання роботи, її умовах та військову бронь;

- за заздалегідь розробленими програмами проведення базового професійного навчання по основних спеціальностях силами працівників водоканалу або із залученням представників ВУЗів дистанційно;
- максимальне використання сучасних посадових інструкцій, методичних матеріалів, інфографіки, візуальних схем, навчальних відео;
- застосування стандартизованих безпечних каналів зв'язку в самому підприємстві.

В довготривалій перспективі запобігання браку кадрів у військовий час передбачає виконання наступних заходів.

1. Розробка окремо або в рамках підготовки до впровадження міжнародних стандартів детальних посадових інструкцій, навчальних посібників, планів швидкої підготовки та перепідготовки кадрів. Крім текстових матеріалів, вони повинні включати велику кількість інфографіки, схем, навчального відео та ін.

2. Розробка планів і програм проведення швидкої підготовки та/або перепідготовки у період воєнного часу, визначення відповідальних осіб, забезпечення їх навчання. До розроблення вказаних матеріалів доцільно залучати провідні галузеві ВУЗи.

3. Створення стандартних каналів зв'язку, проведення їх оцінки професійними організаціями з точки зору безпечності даних, стійкості у військових умовах, доступності.

V. Нестача реагентів внаслідок неможливості їх своєчасної поставки.

Очищення води з поверхневих джерел (іноді і з підземних) для цілей питного водопостачання передбачає застосування спеціальних хімічних речовин, зокрема, коагулянтів, флокулянти та інших реагентів (сполуки амонію, рН-корегуючі речовини, окиснювачі, порошкоподібне активоване вугілля тощо). Для знезараження усіх типів вод використовуються

дезінфікуючи реагенти (хлоровмісні сполуки, озон, УФ-опромінення тощо).

Очевидно, що за відсутності або недостатній кількості реагентів забезпечити відповідну якість води неможливо. Під час військового стану порушується нормальний режим роботи підприємств, в т.ч. хімічної галузі та ускладнюється транспортування вантажів (особливо небезпечних), що унеможлиблює надійне постачання реагентів.

Для запобігання таких ситуацій чинними ДБН передбачена необхідність створення запасів реагентів щонайменше на 30 діб, що в переважній більшості випадків є достатнім. Однак, згідно вимог ДБН при відповідному обґрунтуванні запас може скорочуватись до 15 діб. Якщо в мирний час таке скорочення може бути обґрунтованим, для воєнного стану - виявляється неприпустимим.

При розгляді цього питання потрібно окремо відзначити, що деякі реагенти, насамперед, концентрований розчин гіпохлориту натрію втрачає свою активність під час зберігання, що знижує ефективність його використання у разі необхідності тривалого зберігання. Проте, такі дезінфікуючі реагенти, як газоподібний хлор, електролізний гіпохлорит натрію та діоксид хлору зберігають свою активність і мають тривалий термін придатності. Взагалі з точки зору безпеки зберігання пріоритетною виявляється технологія електролізного виробництва гіпохлориту натрію, оскільки в такому випадку на складі перебувають запаси абсолютно безпечної повареної солі.

Для випадку, коли основним знезаражуючим реагентом є товарний гіпохлорит натрію, а організувати застосування інших методів знезараження неможливо, доцільно створити додатковий запас інших реагентів, наприклад, гіпохлориту кальцію та хлорного вапна.

Слід зауважити, що практика військових дій лютого-березня 2022 р. продемонструвала, що саме питання забезпеченості водоканалів необхідною кількістю реагентів викликає глибоке занепокоєння населення та може активно використовуватись ворогом для дезінформації. Для

боротьби з фейками стосовно дефіциту реагентів необхідно постійно інформувати населення з цього питання, по можливості надаючи також дані відеозйомки, проводити роз'яснення стосовно вимог ДБН та їх повного дотримання.

Таким чином, у напрямку достатнього забезпечення систем водопостачання реагентами в оперативному плані потрібно виконання наступних заходів:

- додержуватися вимог ДБН і правил експлуатації щодо збереження щонайменше 30 добового запасу реагентів. Навіть, якщо зазвичай зберігається запас на 15 діб, на час бойових дій його потрібно збільшити до 30 діб;

- при застосуванні для знезараження води товарного гіпохлориту натрію та необхідності тривалого зберігання реагенту, доповнити запаси іншими реагентами – гіпохлоритом кальцію або хлорним вапном;

- постійно сповіщати населення про достатню кількість реагентів для забезпечення належної якості води, запобігати фейкам.

В довготривалій перспективі в цьому напрямі потрібні наступні заходи.

1. Забезпечення на складах щонайменше 30 добового запасу всіх реагентів. За можливості відмовитися від реагентів, які значно втрачають активність при тривалому зберіганні.

2. У випадку застосування привізного гіпохлориту натрію, передбачити можливість тимчасового переходу на інший знезаражуючий реагент (наприклад, діоксид хлору) або створити запас додаткових, стійких при зберіганні реагентів - гіпохлориту кальцію, хлорного вапна.

VI. Вірогідність техногенної небезпеки як супутній фактор ураження об'єктів водопостачання

Вірогідність техногенної небезпеки, в першу чергу, може виникати при застосуванні для знезараження води газоподібного хлору, який відноситься до сильнодіючих отруйних речовин, що викликають подразнення слизових оболонок та удущня. Хлор відноситься до летких речовин, має зелено-жовтий колір, важчий

за повітря, внаслідок чого утворює газові хмари, які стеляться над землею.

Особливу небезпеку створюють склади зберігання газоподібного хлору. Незважаючи на сучасні засоби безпеки (датчики протічки, водні завіси тощо) та наявність на підприємствах водопостачання планів ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС), передбачені ними заходи призначені лише для випадку технологічної аварії, тобто розраховані на вихід з ладу (прорив) одного балону (ємності), а не всіх відразу, що зберігаються на складі. Аналіз результатів Проєкту, здійсненого за підтримки UNICEF «Оцінка ризиків, пов'язаних з використанням хімічних речовин на Білогорівському очисному заводі (Західна фільтрувальна станція-2), що управляється Попасним водоканалом (ПВК) в Луганській області», показав, що у випадку пошкодження на складі всіх ємностей внаслідок обстрілу об'єм викиду хлору буде в рази більший, ніж передбачено існуючим ПЛАС. Відповідно і розміри утвореної хлорної хмари будуть набагато більшими і, зокрема, для даної ситуації під вплив хмари можуть потрапити великі населені пункти, в т.ч. Сєверодонецьк.

У теперішній час в більшості розвинутих країн застосування газоподібного хлору на об'єктах, прилеглих до великих населених пунктів, а тим більше – в міській зоні, категорично заборонене. В той же час, в Україні це цілком розповсюджена практика, зокрема, газоподібний хлор використовується на Деснянській водоочисній станції, розташованій в межах Києва.

Інші методи знезараження не створюють настільки потужної небезпеки техногенного характеру. Привізний (концентрований) розчин гіпохлориту натрію, хоча і відноситься до отруйних речовин, є нелетким, а тому при ураженні може створювати лише локальну небезпеку для робітників водоочисної станції. У випадку електролізного гіпохлориту ситуація ще безпечніша: гіпохлорит натрію зберігається у незначній кількості і виробляється по мірі необхідності. Запас

вихідного реагенту – це абсолютно безпечний хлорид натрію.

Діоксид хлору, теж відноситься до отруйних речовин і є летким, але витрачається безпосередньо в установці після утворення. Вихідні реагенти для його одержання – соляна кислота та хлорит натрію, хоча і є отруйними речовинами, відносяться до нелетких.

Схожа ситуація з іншими реагентами, які застосовуються в технології підготовки питної води, вони зазвичай відносяться до нелетких речовин і не становлять прямої загрози техногенної небезпеки.

Певну небезпеку через вибухонебезпечність можуть становити склади порошкоподібного вугілля, але при чіткому дотриманні всіх норм проектування наслідки вибуху для будівель і споруд будуть мінімальними.

Враховуючи вищевикладене, оперативні дії у випадку техногенної небезпеки очевидні і полягають у чіткому дотриманні вимог своєчасно розробленого ПЛАС.

В той же час при плануванні розвитку підприємств водопостачання для запобігання виникнення техногенних загроз та зменшення їх наслідків потрібна реалізація ряду заходів.

1. Максимальна відмова у міській місцевості та на об'єктах, розташованих поблизу населених пунктів, від використання газоподібного хлору та заміна його більш безпечними реагентами.

2. Розробка (уточнення) ПЛАС з урахуванням можливості ураження всього складу хлору та прогнозуванням утворення і параметрів хлорної хмари за даних умов.

3. Постійне проведення навчань і інструктажів співробітників на випадок ураження складів реагентів.

4. Проведення планових навчань населення щодо дій в надзвичайних ситуаціях, що можуть виникнути внаслідок аварій систем водопостачання.

ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

В рамках представленої роботи проаналізовано найбільш ймовірні ускладнення в експлуатації систем водопостачання, які можуть виникнути внаслідок бойових дій та у воєнний період. Також наведено основні рекомендації з оперативних дій водоканалів та напрями розвитку систем для запобігання виникненню таких ускладнень та/або зменшення їх наслідків.

Серед сценаріїв було розглянуто: безпосереднє ураження об'єктів або елементів систем водопостачання бойовими снарядами, відключення електроенергії, різке погіршення якості води, брак персоналу необхідної кваліфікації, нестача реагентів, можливість виникнення техногенної небезпеки при ураженні об'єктів.

До ключових заходів оперативного реагування віднесено наступні.

У випадках ураження об'єктів водопостачання

1. Чітке розуміння можливості виникнення у воєнний час особливого гідравлічного режиму, підбір максимально ефективних параметрів роботи насосних агрегатів та обладнання на мережах;

2. При ураженні окремого обладнання насосних станцій – здійснення у найкоротші строки його заміни резервним з цієї ж НС, іншої НС або із зовнішнього складу;

3. При повному виведенні з ладу насосних станцій – організація подачі води максимальній кількості споживачів за рахунок інших джерел водопостачання і НС;

4. Перехід на особливий режим знезараження з урахуванням гідравлічного режиму роботи системи та можливості створення населенням запасів води;

5. У разі ураження окремих елементів водоочисних станцій перехід на експлуатацію резервного обладнання і споруд, а також на спеціальні режими застосування реагентів.

При знеструмленні об'єктів

1. Максимально оперативно (бажано в автоматичному режимі) за допомогою

ГІС або в інший спосіб визначити, які конкретно об'єкти знеструмлені, а для об'єктів першої категорії надійності – які саме входи знеструмлені;

2. Для об'єктів першої категорії при знеструмленні одного входу – перейти на резервний вхід;

3. При повній відсутності електроенергії на всіх входах НС, визначити зону негативного впливу, тобто перелік споживачів, яким вода не подаватиметься або подаватиметься з недостатнім тиском. Проінформувати про результати усі відповідні служби, зокрема, ДСНС;

4. За можливості частково скоригувати гідравлічний режим роботи системи за рахунок зміни режимів роботи інших насосних станцій;

5. При знеструмленні водоочисної станції оцінити можливість її експлуатації з використанням альтернативних джерел живлення (генераторів) та вплив на якість очищеної води;

6. За можливості здійснювати знезараження води привізним гіпохлоритом натрію або запасами його розведеного розчину (якщо реагент є на станції), використовуючи генератори;

7. У разі неможливості забезпечення належної якості води, припинити роботу ВОС і зберегти запас якісної води в РЧВ;

8. Вода з РЧВ, навіть за відсутності електропостачання НС-ІІ, може бути використана для доставки автомобільним транспортом.

При погіршенні якості вихідної води

1. Отримання своєчасної достовірної інформації про вірогідний час надходження забруднень та прогнозування величини ключових показників забруднення води в перспективі. Забезпечення постійного і безперервного моніторингу якості води за ключовими показниками в районі водозабору та в очищеній воді;

2. Всебічний аналіз отриманих даних для прийняти рішення щодо варіанту наступних дій в ситуації, що склалася: перехід на постачання води з інших водозаборів або на децентралізоване забезпечення водою, їх комбінація. Детальне моделювання на основі ГІС наявної ситуації з

визначенням які споживачі і яким чином будуть отримувати воду протягом всього часу погіршення якості води в джерелі;

3. Своєчасне інформування споживачів про відключення, надання карти місць роздачі води і т.п.;

4. До погіршення якості води в районі водозабору максимальне заповнення РЧВ очищеною водою; коригування при цьому режиму знезараження, беручи до уваги збільшення часу перебування води в системі. Вжиття заходів для припинення забору води при погіршенні її якості;

5. За можливості зберігання певного запасу вихідної (неочищеної) води, прирізом, шляхом припинення подачі води у водозабірний ковш, наповнення цих споруд водою до погіршення її якості;

6. В залежності від ситуації перехід на децентралізоване забезпечення населення водою із застосуванням бюветних комплексів, систем доочищення та/або привізної води;

7. Застосування, за можливості, пересувних комплексних систем очищення і розливу води;

8. Постійне інформування населення про способи та місця отримання води, вжиття заходів щодо запобігання паніці.

При роботі в умовах нестачі персоналу

1. Визначення точного переліку додатково необхідних працівників різної кваліфікації;

2. Звернення до волонтерських організацій з питання залучення необхідних людей та/або делегування ним окремих конкретних завдань;

3. Інформування людей різними каналами зв'язку про можливість отримання роботи, її умовах та військову бронь;

4. За заздалегідь розробленими програмами проведення базового професійного навчання по основних спеціальностях силами працівників водоканалу або із залученням представників ВУЗів дистанційно;

5. Максимальне використання сучасних посадових інструкцій, методичних

матеріалів, інфографіки, візуальних схем, навчальних відео;

6. Застосування стандартизованих безпечних каналів зв'язку в самому підприємстві.

При утворенні дефіциту реагентів

1. Додержуватися вимог ДБН і правил експлуатації щодо збереження щонайменше 30 добового запасу реагентів. Навіть, якщо зазвичай зберігається запас на 15 діб, на час бойових дій його потрібно збільшити до 30 діб;

2. При застосуванні для знезараження води товарного гіпохлориту натрію та необхідності тривалого зберігання реагенту, доповнити запаси іншими реагентами – гіпохлоритом кальцію або хлорним вапном;

3. Постійно сповіщати населенню про достатню кількість реагентів для забезпечення належної якості води, запобігати фейкам.

При роботі у випадку техногенної небезпеки

1. Максимальна відмова у міській місцевості та на об'єктах, розташованих поблизу населених пунктів, від використання газоподібного хлору та заміна його більш безпечними реагентами.

2. Розробка (уточнення) ПЛАС з урахуванням можливості ураження всього складу хлору та прогнозуванням утворення і параметрів хлорної хмари за даних умов.

3. Постійне проведення навчань і інструктажів співробітників на випадок ураження складів реагентів.

4. Проведення планових навчань населення щодо дій в надзвичайних ситуаціях, що можуть виникнути внаслідок аварій систем водопостачання.

Надійне забезпечення водопостачання населеного пункту під час воєнних дій потребує також реалізації ряду стратегічних заходів. Ці заходи повинні бути відображені в документах стратегічного розвитку підприємства, в першу чергу, схемах оптимізації систем водопостачання і водовідведення та генеральних планах розвитку населених пунктів.

У теперішній час розробка схем оптимізації здійснюється у відповідності до «Методичних рекомендації з розроблення схем оптимізації роботи систем централізованого водопостачання та водовідведення», затверджених наказом Мінрегіону України від 23.12.2010 №476. Цей документ не містить прямих вимог до включення наведених вище заходів, а отже потребує коригування, зокрема, внесення змін щодо додаткового напряму формування заходів - «Стійкість і безперервність надання послуг з водопостачання в особливих умовах та у воєнний час».

Крім того, на державному рівні необхідно реалізувати наступні довгострокові заходи.

1. Встановлення на державному рівні вимог стосовно доступу до інформації про координати основних об'єктів систем водопостачання з урахуванням сучасних можливостей їх одержання з супутникових карт та інших відкритих джерел

2. Внесення змін у чинні будівельні норми стосовно підвищення стійкості об'єктів водопостачання у воєнних умовах. Наприклад, застосування замість блоків споруд, розташування окремими чергами, встановлення насосів в різних машинних залах, а також застосування більш надійних рішень щодо стійкості споруд (в т.ч. улаштування підземних насосних станцій).

3. Розробка на рівні Держводагентства сценарних прогнозів розповсюдження забруднень при різних варіантах техногенних катастроф, насамперед, об'єктів атомної енергетики. При цьому особливо важливо визначення часу розповсюдження забруднень в районах поверхневих водозаборів та їх вірогідних концентрацій

До конкретних заходів, які доцільно розглянути при формуванні схем оптимізації, відносяться наступні.

Направлені на збільшення надійності роботи систем в разі ураження їх окремих елементів

1. Створення максимально можливого дублювання ключових елементів систем

очищення і розподілення води. Найкраще – застосування різних джерел водопостачання з окремими водоочисними станціями і незалежними системами транспортування води до населеного пункту (резервування елементів системи).

2. Забезпечення максимального кільцювання розподільних мереж та підбір резервного насосного обладнання з урахуванням можливості постачання води споживачам за рахунок альтернативних насосних станцій.

3. Забезпечення повного дублювання всіх ключових водоводів.

4. Встановлення на державному рівні вимог стосовно доступу до інформації про координати основних об'єктів систем водопостачання з урахуванням сучасних можливостей їх одержання з супутникових карт та інших відкритих джерел.

5. Відпрацювання на основі ГІС та гідравлічної моделі всіх можливих сценаріїв ураження елементів системи водопостачання, та розробка чіткої послідовності дій для кожного з випадків. При цьому планування заміни насосного обладнання має проводитись з урахуванням забезпечення їх працездатності при всіх досліджених сценаріях.

6. Підтримання всього резервного обладнання в працездатному стані.

7. Максимальний розвиток сучасних систем знезараження води з пріоритетним використанням реагентів з тривалим часом елімінації, наприклад, діоксиду хлору.

8. Розвиток основних та резервних систем знезараження води на розподільних мережах.

9. Прогнозування якості води при різних сценаріях на основі ГІС та гідравлічної моделі, як мінімум за показником залишкового вмісту знезаражуючих агентів.

Направлені на забезпечення працездатності систем внаслідок припинення подачі електроенергії.

1. Розробка детальних планів роботи в умовах повної та часткової відмови електропостачання на різних об'єктах підприємств водопостачання.

2. Впровадження систем автоматичного переходу на резервний вхід електроенергії при знеструмленні основного; постійне підтримання резервних входів в працездатному стані.

3. Встановлення на всіх об'єктах, де це технологічно можливо і доцільно, альтернативних джерел струму – генераторів із забезпеченням зберігання необхідного запасу палива для них.

4. Забезпечення автоматичного обміну даними з енергопостачальними компаніями задля можливості прогнозування переліку об'єктів, які підлягають знеструмленню, а також переліку споживачів, для яких відбувається відключення та/або падіння тиску води.

5. Передбачення у ГІС можливості прогнозування відключення ПНС незалежно від їх балансової приналежності та створення планів реагування на такі відключення.

6. Створення резервних систем знезараження води гіпохлоритом натрію (привізним або запасом електролізного продукту), обладнаних генераторами для насосів-дозаторів.

Направлені на забезпечення роботи в умовах різкого погіршення якості води внаслідок техногенної небезпеки або отруєння джерел водопостачання.

1. Забезпечення (за можливості) резервного джерела (джерел) водопостачання, потужність якого є достатньою для централізованого водопостачання у воєнний час, але як мінімум - достатньою для пиття і приготування їжі.

2. За відсутності резервних джерел, максимальний розвиток резервуарного парку, в т.ч. РЧВ, об'єм яких повинен відповідати щонайменше 12-годинній подачі води, а також резервуарів на мережах.

3. Створення альтернативних систем постачання питної води (наприклад, на основі бюветних комплексів), пунктів розливу та ін., розвиток парку цистерн для доставки привізної води.

4. Розвиток достатньої кількості систем доочищення води, спроможних

забезпечувати видалення з води можливих забруднень при збереженні її фізіологічної повноцінності. Зазвичай такі системи повинні включати стадію вугільної фільтрації, зворотного осмосу та мінералізації води.

5. Створення парку пересувних комплексів підготовки та розливу води в необхідній кількості.

6. Відпрацювання на основі ГІС можливих сценаріїв забезпечення населення водою з детальним моделюванням місць розташування пунктів роздачі води, об'ємів запасу води і часу, на які їх вистачить, режимів роботи споруд і об'єктів системи тощо.

Направлені на запобігання нестачі кадрів у воєнний час

1. Розробка окремо або в рамках підготовки до впровадження міжнародних стандартів детальних посадових інструкцій, навчальних посібників, планів швидкої підготовки та перепідготовки кадрів. Крім текстових матеріалів, вони повинні включати велику кількість інфографіки, схем, навчального відео та ін.

2. Розробка планів і програм проведення швидкої підготовки та/або перепідготовки у період військового часу, визначення відповідальних осіб, забезпечення їх навчання. До розроблення вказаних матеріалів доцільно залучати провідні галузеві ВУЗи.

3. Створення стандартних каналів зв'язку, проведення їх оцінки професійними організаціями з точки зору безпечності даних, стійкості у військових умовах, доступності.

Направлені на запобігання дефіциту реагентів

1. Забезпечення на складах щонайменше 30 добового запасу всіх реагентів. За можливості відмовитися від реагентів, які значно втрачають активність при тривалому зберіганні.

2. У випадку застосування привізного гіпохлориту натрію, передбачити можливість тимчасового переходу на інший знезаражуючий реагент (наприклад, діоксид хлору) або створити запас додаткових,

стійких при зберіганні реагентів - гіпохлориту кальцію, хлорного вапна.

Направлені на запобігання техногенної небезпеки внаслідок ураження об'єктів водопостачання та зниження її негативних наслідків

1. Максимальна відмова у міській місцевості та на об'єктах, розташованих поблизу населених пунктів, від використання газоподібного хлору та заміна його більш безпечними реагентами.

2. Розробка (уточнення) ПЛАС з урахуванням можливості ураження всього складу хлору та прогнозуванням утворення і параметрів хлорної хмари за даних умов.

3. Постійне проведення навчань і інструктажів співробітників на випадок ураження складів реагентів.

4. Проведення планових навчань населення щодо дій в надзвичайних ситуаціях, що можуть виникнути внаслідок аварій систем водопостачання.

Слід зауважити, що майже всі наведені вище заходи не є економічно окупними. Вони передбачають як значні капіталовкладення (наприклад, створення дублюючих систем і їх елементів, розвиток децентралізованих систем, впровадження сучасних технологій, розвиток резервуарного парку), так і збільшення витрат при експлуатації (приміром, підтримання свердловин у «гарячому резерві»). Зрозуміло, що джерелом покриття таких витрат буде тариф за послуги водопостачання, а отже впровадження заходів неминуче призведе до певного збільшення собівартості послуг. В той же час, оскільки альтернативні варіанти постачання водою населення (наприклад, забезпечення пляшкованою водою тощо) є малореалістичними, на нашу думку, таке збільшення тарифів є розумним способом запобігання гуманітарної катастрофи. Звичайно, визначення конкретного переліку заходів, їх черговості, пріоритетності і джерел фінансування повинно визначатись для кожної конкретної системи на основі оцінки ризиків та відповідного техніко-економічного обґрунтування.

На останок потрібно зазначити, що у даній статті наведені лише принципові напрями розвитку систем водопостачання, в подальших дослідженнях доцільно провести деталізацію цих заходів, в т.ч. з точки зору оцінки ризиків.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Водопостачання.** Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5-74:2013. Чинні від 01.01.2014. К.: Мінрегіонбуд України, 2013. 172 с.
2. **Інженерний захист територій, будинків і споруд від підтоплення та затоплення:** ДБН В.1.1-25-2009. Чинні від 01.01.2011. К.: Мінрегіонбуд України, 2010. 30 с.
3. **Настанова з будівництва, монтажу та контролю якості трубопроводів зовнішніх мереж водопостачання та каналізації:** ДСТУ-Н.Б.В.2.5-68:2012. Чинний від 1.01.2014. К.: Мінрегіон України. 69 с.
4. **Mauter M. S., Dionysiou D. D., Kim J. H.** Technology Baselines and Innovation Priorities for Securing Water Supply. ACS ES&T Engineering, 2022, 2, 3, 271–272.
5. **Ahmadi A., Tiruta-Barna L.** A Process Modelling-Life Cycle Assessment-Multi Objective Optimization tool for the eco-design of conventional treatment processes of potable water. Journal of Cleaner Production. Volume 100, 1 August 2015, Pages 116-125.
6. **Sargsyan A. M., Pyin N. A., Drondin M. S.** Commissioning of Water Treatment Facilities in Rural Areas. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022, Volume 988, Chapter 4.
7. **Sweetapple C., Fu G., Butler D.** Reliable, Robust, and Resilient System Design Framework with Application to Wastewater-Treatment Plant Control. Journal of Environmental Engineering. Vol. 143, Issue 3 (March 2017).
8. **Хоружий В. П.** Експлуатація систем водопостачання та водовідведення: навч. посіб.: у 2-х ч. Ч. 1/ В. П. Хоружий, В. А. Кравченко, Т. П. Хомутецька, О. В. Кравченко, А. В. Василюк, І. П. Недашковський. Київ: КНУБА, 2020. 232 с.
9. **Хоружий П. Д.** Ресурсозберігаючі технології водопостачання: навч. посіб. / П. Д. Хоружий, Т. П., Хомутецька, В. П. Хоружий. К.: Аграрна наука, 2008. 534 с.
10. **Душкін С. С.** Конспект лекцій з дисципліни «Надійність водопровідно-каналізаційних систем» / С. С. Душкін, М. В. Дегтяр. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. 115 с.

11. Хомуцька Т. П. Енергоощадне водопостачання: навч. посіб. /Хомуцька. Т. П. К.: КНУБА, 2012. 243 с.
12. Рудник В. П. Эксплуатация систем канализации: учебное пособие / В. П. Рудник, П. И. Петимко, В. Д. Семенюк. К.: Будивельник, 1984. 128 с.
13. Тугай А. М. Водопостачання. Джерела та водозабірні споруди / А. М. Тугай, Я. А. Тугай. К.: вид-во Європейського університету, 2015. 232 с.
14. Душкин С. С. Улучшение технологии очистки природных и сточных вод: учебное пособие. К.: Выща школа, 1998. 148 с.
15. Реконструкция и интенсификация сооружений водоснабжения и водоотведения: учебное пособие / А. А. Василенко и др. Одесса: ОГАСА, 2007. 304 с.
16. Эксплуатация очистных сооружений водопроводно-канализационных систем: учебное пособие / С. С. Душкин и др. Харьков: ХНАГХ, 2010. 183 с.
17. Гвоздяк П. И., Глоба Л. И. Научное обоснование, разработка и внедрение в практику новых биотехнологий очистки воды. Химия и технология воды, 1998, т.20, № 3. С. 325-329.
18. Журба М. Г. Водоочистные фильтры с плавающей загрузкой. Научное издание. М., 2011. 536 с.
19. Хомуцька Т. П., Хоружий В. П., Дупляк О. В., Нор В. В. Гідроавтоматична установка для очистки природних і доочищення стічних вод. Патент на корисну модель № 144274, опубліковано 25.09.2020, бюл.№18.
20. Хоружий П. Д., Хомуцька Т. П., Хоружий В. П., Недашковський І. П. Установка для очистки воды. Патент на корисну модель № 60064, опубліковано 10.06.2011, бюл.№11.

REFERENCES

1. Ministry of Regional Development of Ukraine (2013) Water supply. External networks and structures. The main provisions of the design: DBN B.2.5-74: 2013. Valid from 01.01.2014. [in Ukrainian]
2. Ministry of Regional Development of Ukraine (2009) Engineering protection of territories, buildings and structures from flooding and inundation: DBN B.1.1-25-2009. Valid from 01.01.2011. [in Ukrainian]
3. Ministry of Regional Development of Ukraine (2012) Guidelines for construction, installation and quality control of pipelines of external water supply and sewerage networks: DSTU-N.BV.2.5-68:2012. Valid from 01.01.2014. [in Ukrainian]
4. Mauter, M. S., Dionysiou, D. D., & Kim, J. H. (2022) Technology Baselines and Innovation Priorities for Securing Water Supply. *ACS ES&T Engineering*, 2(3), 271–272. <https://doi.org/10.1021/acsestengg.2c00014>
5. Ahmadi, A., & Tiruta-Barna, L. (2015). A Process Modelling-Life Cycle Assessment-MultiObjective Optimization tool for the eco-design of conventional treatment processes of potable water. *Journal of Cleaner Production*, 100, 116-125. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.045>
6. Sargsyan, A. M., Pyin, N. A., & Drondin, M. S. (2022). Commissioning of Water Treatment Facilities in Rural Areas. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 988 (4). Retrieved from <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/988/5/052024/meta>
7. Sweetapple C., Fu G., Butler D. (2017). Reliable, Robust, and Resilient System Design Framework with Application to Wastewater-Treatment Plant Control. *Journal of Environmental Engineering*, 143(3). 04016086. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ee.1943-7870.0001171](https://doi.org/10.1061/(asce)ee.1943-7870.0001171)
8. Khoruzhy, V. P., Kravchenko, V. A., Khomutetska, T. P., Kravchenko, O. V., Vasilyuk, A. V., & Nedashkovs'kyy, I. P. (2020). *Operation of water supply and sewerage systems: textbook. aid*. Kyiv: KNUBA. [in Ukrainian]
9. Khoruzhy, P. D., Khomutetska, T. P., & Khoruzhy, V. P. (2008). *Resource-saving technologies of water supply: textbook. way*. Kyiv.: Agrarian Science. [in Ukrainian]
10. Dushkin, S. S., & Degtyar M. V. (2015). *Reliability of water supply and sewerage systems. Abstract of lectures*. Kharkiv: KhNUMG them. O. M. Beketova. [in Ukrainian]
11. Khomutetska, T. P. (2012) *Energy-saving supply: textbook*. KNUBA. [in Ukrainian]
12. Rudnik, V. P., Petimko, P. I., & Semenyuk V. D. (1994). *Operation of sewerage systems: textbook*. Kyiv: Budivelnik. [in Russian]
13. Tugay, A. M., & Tugay, Ya. A. (2015). *Water supply. Sources and water intake structures*. Kyiv: Publishing House of the European University. [in Ukrainian]
14. Dushkin, S. S. (1998). *Improving the technology of natural and wastewater treatment: a textbook*. Kyiv: Higher school. [in Russian]

15. Vasilenko, A. A., Grabovsky, P. A., Larkina, G. M., Polishchuk, A. V., & Progulny, V. I. (2007). *Reconstruction and intensification of water supply and drainage co-weapons: a textbook*. Odessa: OGASA. [in Russian]
16. Dushkin, S. S., Blagodarnaya, G. I., Kovalenko A. N., & Solodovnik, M. V. (2010). *Operation of sewage treatment plants and water supply and sewerage systems: textbook*. Kharkov: KhNAGH. [in Russian]
17. Gvozdyak, P. I., & Globa, L. I. (1998). *Scientific substantiation, development and introduction into practice of new biotechnologies of water purification*. *Chemistry and technology of water*, 20(3). 325-329. . [in Russian]
18. Zhurba, M. G. (2011). *Floating load water filters*. Moscow. [in Russian]
19. Khomutetska, T. P., Khoruzhy V. P. Duplyak, O. V., & Nor, V. V. (2020). *Hydroautomatic installation for natural and wastewater treatment*. Utility model patent № 144274, published on 25.09.2020, bulletin №18.
21. Khoruzhy, P. D., Khomutetska, T. P., Khoruzhy, V. P., & Nedashkovs'kyi, I. P. (2011). *Installation for water purification*. Utility model patent № 60064, published on 10.06.2011, bulletin №11.

Peculiarities of operation of drinking water supply systems in wartime

Oleksandr Kravchenko, Victor Khoruzhy, Volodymyr Kanibolotsky

Abstract. The military aggression of the Russian Federation and the illegal actions of the aggressor, aimed at the deliberate destruction of civilian infrastructure, proved the vulnerability of centralized water supply systems. Thus, in just a few days from the beginning of the war, consumers of the cities of Mariupol, Melitopol, Volnovakha, Chernihiv, Sumy, and others were completely or partially without water supply.

In addition to the humanitarian catastrophe due to hostilities, the cessation of centralized water supply as a factor in the vulnerability of life support systems, was actively used by the occupiers in the information war to create panic among civilians, demoralize people, mental disorders and more.

This article analyzes the main factors of vulnerability of centralized water supply systems in Ukraine, and proposes technical and organizational measures to reduce them, which can be implemented both in the short term and in the long run.

The factor of sustainability of water supply systems in wartime should not be considered as the only direction of planning their development, but recent events show that it is certainly a priority. Therefore, the recommendations developed in this article can be applied by water supply companies both in operational activities and in strategic planning of the development of water supply systems in the future, in particular during the development of optimization schemes.

Keywords: water supply systems, water intake facilities, pumping stations, water supply networks, water purification.

Стаття надійшла до редакції 22.03.2022