

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОЖИВАЧІВ СІЛЬГОСПВОДОПРОВІДІВ ЯКІСНОЮ ПИТНОЮ ВОДОЮ

Тетяна Хомуцька¹, Ірина Кондрицька², Тетяна Курбанова³, Віктор Нор⁴

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

¹докт. техн. наук, khomutetska.tp@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0003-0153-4920

²kondrytska_io-2022@knuba.edu.ua, orcid.org/0009-0000-2786-6144

³kurbanova_tv@knuba.edu.ua, orcid.org/0009-0006-4265-2666

⁴Інститут водних проблем і меліорації НААН

37, вул. Васильківська, м. Київ, Україна, 03022

rostem29@gmail.com, orcid.org/0000-0001-7577-8800

DOI: 10.32347/2524-0021.2023.45.78-87

Анотація. Подача споживачам питної води, якісні показники якої відповідають нормативним вимогам, відноситься до найважливіших завдань водопровідної галузі. Особливо гостро постає проблема з водозабезпеченням сільських населених пунктів, оскільки понад 38% сільських водопроводів, з яких відбирали проби для лабораторних досліджень, не відповідали вимогам стандарту якості за санітарно-хімічними й мікробіологічними показниками. Разом з тим, централізованим водопостачанням забезпечено лише четвертину сіл України, а решта сільських споживачів досі використовує воду з індивідуальних водозаборів, які у багатьох випадках перебувають у незадовільному санітарно-технічному стані. На прикладі села Велика Олександрівка Бориспільського району Київської області, де мешкає понад 6 тисяч осіб, показано шляхи вирішення проблеми із забезпечення споживачів питною водою нормативної якості. На основі лабораторного аналізу проби та досліджень споруд водопостачання у цьому населеному пункті, встановлено причини незадовільної якості води в системі централізованого сільгоспводопроводу, проаналізовано наслідки використання такої води та розроблено рекомендації, що дозволять поліпшити ситуацію. Вони стосуються заміни водопровідної мережі на стійкі до корозії труби з поліетилену; застосування сучасних ефективних технологій знезалізнання підземних вод з використанням аератора, біореактора та контактено-прояснювального фільтра; автоматизації сумісної роботи водонапірної башти та свердловинного насоса.

Ключові слова: сільськогосподарське водопостачання, водозабір на свердловину, знезалізнання, водонапірна башта, водопровідна мережа.

ВСТУП

Забезпечення споживачів якісною питною водою, незважаючи на кризові ситуації і виклики сьогодення, є одним із найважливіших завдань, які стоять перед державою, науковцями і фахівцями водопровідної галузі, проектувальниками та працівниками відповідних експлуатаційних служб [1, 2]. Якщо питанням, пов'язаним з господарсько-питним водопостачанням, у великих містах здебільшого приділяється значна увага, то ситуація з водозабезпеченням

сільського населення є набагато гіршою. Так, за даними Національної доповіді про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні [3] у 2021 році питома вага проб питної води, відібраних із джерел централізованого водопостачання, що не відповідали стандарту за санітарно-хімічними й мікробіологічними показниками становила для комунальних водопроводів, відповідно, 18,2% та 5,1% (у 2020 році 16,8% і 4,7%), в той час як для сільських водопроводів ці показники були майже

вдвічі більшими – відповідно, 28,9% та 11,9% (у 2020 році 26,9% і 13,8%). Із загальної кількості сільських водопроводів, на яких проводили дослідження, питома вага тих, де результати лабораторних аналізів води не відповідали нормативам, склала 38,3%.

Крім того, з року в рік спостерігається ще й тенденція до погіршення показників якості питної води з сільських централізованих систем водопостачання. Така ситуація пов'язана зі зміною форм власності та передачею сільських водопроводів на баланс органів місцевого самоврядування, що загострило проблему забезпечення населення питною водою гарантованої якості. Переважна більшість водопровідних систем нині знаходяться в незадовільному технічному стані, а населенню потрібно проводити ремонти за свої кошти. Досі на багатьох сільських водопроводах немає очисних споруд та знезаражуючих установок, відсутній виробничий лабораторний контроль якості питної води. Разом з тим, централізованим водопостачанням забезпечено лише четвертину сіл України, а решта сільських споживачів використовує воду з колодязів та індивідуальних свердловин, які у багатьох випадках перебувають у незадовільному санітарно-технічному стані, що не забезпечує споживачів якісною питною водою [3].

Незадовільний санітарно-технічний стан споруд і мереж негативно впливає й на якість води централізованих сільгоспводопроводів. Так, відсоток їх зношеності у різних регіонах становить від 30% до 70%, а капітальні й поточні планово-профілактичні ремонти та ліквідації аварій здійснюються несвоєчасно [3]. Причому така ситуація стосується не тільки якихось віддалених від обласних центрів сіл, а й розташованих в безпосередній близькості від столиці населених пунктів. Так, лабораторний аналіз проби, з системи централізованого водопроводу в селі Велика Олександрівка, що знаходиться в Бориспільському районі Київської області (рис. 1), де мешкає понад 6 тисяч осіб, показав невідповідність досліджуваної води стандарту якості. Осо-

бливо значним виявився показник вмісту заліза, який перевищував нормативне значення у десятки разів.

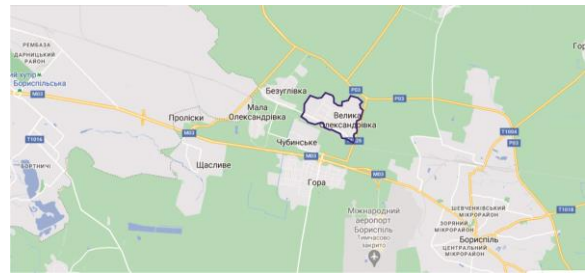


Рис. 1. Село Велика Олександрівка на карті місцевості

Fig. 1. The village of Velika Oleksandrivka on the district map

Це значно обмежує або й зовсім унеможливорює споживання такої води не тільки для питних потреб населення, але й для використання її у побуті. Тому водоспоживачі масово відмовляються від послуг централізованого водопостачання та вимушені користуватись індивідуальними свердловинами і колодязями, що також не гарантує нормативну якість води у цих спорудах за санітарно-хімічними й мікробіологічними показниками.

МЕТА ДОСЛІДЖЕНЬ

Роботу виконували з метою, щоб на конкретному прикладі аналізу водозабезпечення села Велика Олександрівка Бориспільського району Київської області встановити причини незадовільної якості води в системі централізованого сільгоспводопроводу та показати можливі шляхи вирішення проблеми забезпечення споживачів питною водою, яка відповідає нормативним показникам.

ПРИЧИНИ ТА НАСЛІДКИ

Для перевірки якості води, що подається споживачам досліджуваного села системою централізованого сільгоспводопроводу, у жовтні 2023 року було відібрано пробу та в сертифікованій лабораторії КНУБА при кафедрі водопостачання та водовідведення проведено її аналіз. Результати аналізу виявили високі показники каламутності досліджуваної проби (31,6 НОК при нормативному значенні до 1 НОК), що спостеріга-

ється, головним чином, внаслідок значного вмісту заліза у водопровідній воді села на рівні $5,8 \text{ мг/дм}^3$, в той час, коли нормативне значення по цьому показнику становить всього $0,2 \text{ мг/дм}^3$.

Як відомо, вода з високим вмістом заліза може негативно впливати на здоров'я людей, викликаючи захворювання печінки, на роботу побутових та сантехнічних приладів в оселях, а накопичуваний на стінках труб осад здатен змінювати гідравлічні характеристики системи водопостачання, збільшуючи експлуатаційні витрати при незадовільній якості води, що надходить споживачам, змушуючи їх відмовлятися від послуг.

Така вода має підвищені показники каламутності і кольоровості, їй притаманний рудий відтінок, що створює перешкоди для пиття, приготування їжі, прання білизни, миття посуду, прийняття душу тощо.

Вода з гідроксидом заліза з часом лишає по собі стійкий наліт на сантехнічних приладах, що псує їх зовнішній вигляд. Вона здатна викликати утворення накипів на поверхнях бойлерів, котлів, пральних та посудомийних машин, чайників, кавоварок та інших побутових приладів. Це, в свою чергу, негативно впливає на ефективність їх роботи, призводить до скорочення терміну служби і частих поломок.

Крім того, осад, який може накопичуватися на внутрішній поверхні труб водопровідних мереж, призводить до зменшення живого перерізу, а отже і до зниження пропускної здатності трубопроводів, збільшення їх шорсткості і зростання гідравлічного опору в системі водопостачання. Особливо небезпечна ситуація спостерігається при використанні сталевих труб з недостатнім захистом від корозії, яка швидко руйнує метал, а продукти корозії не тільки відкладаються на стінках труб, але й додатково насичують сполуками заліза воду, яка надходить споживачам. Причому корозія по відношенню до металу може бути як внутрішня, так і зовнішня ґрунтова корозія, а також може спостерігатися ще й дуже небезпечна за руйнівною дією електрокорозія,

що виникає під впливом блукаючих струмів.

Таким чином, дослідженнями встановлено, що причинами високих показників заліза у водопровідній воді села Велика Олександрівка можуть бути не тільки підвищений вміст заліза у підземному джерелі водопостачання, але й багаторічна експлуатація споруд, що давно виробили свій термін, і особливо це стосується водопровідних мереж, прокладених з азбестоцементних та сталевих трубопроводів, які піддалися корозії.

ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ

Поліпшити ситуацію можна завдяки реконструкції й переобладнання системи водопостачання за трьома напрямками:

1) заміна існуючої водопровідної мережі на труби, що стійкі до корозії;

2) застосування сучасних ефективних технологій очищення підземних вод від надмірного вмісту заліза;

3) автоматизація сумісної роботи споруд в системі водопостачання.

Нині водоспоживачами села є понад 6 тисяч населення та два тепличні господарства – квіткове й овочеве. Вода споживається мешканцями у приватних та громадських будівлях для задоволення господарсько-питних потреб, використовується для поливу присадибних ділянок і теплиць, а також розрахункові обсяги води потрібно резервувати на випадок виникнення в населеному пункті пожежі.

Враховуючи всі ці потреби, для забезпечення споживачів села якісною питною водою запроектовано баштову систему водопостачання, що складається з чотирьох кілець магістральних ліній (рис.2.) У водонапірній башті Рожновського типу ВБР-160 передбачається розміщення не тільки регулюючого запасу води, а й протипожежного чи аварійного.

Для мереж водопостачання сільгоспводопроводу доцільним буде використання поліетиленових трубопроводів, що мають низку переваг порівняно з іншими матеріалами, а саме:



Рис. 2. Розташування споруд в системі водопостачання

Fig. 2. Location of structures in the water supply system

- невелика вартість;
- довгий термін експлуатації;
- стійкість до корозії при контакті з агресивними середовищами;
- невелика вага;
- простота монтажу і обслуговування, труби можуть прокладатися методом протягування;
- легкість утилізації і переробки;
- токсикологічна і бактеріологічна безпека;
- висока еластичність, труби можуть витримувати змінні навантаження від ґрунту, гідроудари та землетруси;
- низька шорсткість внутрішньої поверхні, що забезпечує невеликі втрати напору;
- гладкість поверхні, труби не засмічуються мулом та накипом;
- низька теплопровідність;
- висока морозостійкість.

Таким чином, застосування поліетиленових труб дозволить уникнути негативних наслідків, які спостерігаються внаслідок корозії металу, та забезпечить транспортування води до споживачів водопровідною мережею, не погіршуючи якісні показники.

Для зниження вмісту заліза у воді, що забирається з підземних джерел, розроблено багато технологій [4-9]. Вони реалізовані в численних конструктивних схемах во-

дознезалізнюючих установок та станцій водопідготовки різних типів [10-15]. Враховуючи сучасні наукові досягнення у цьому напрямку й практичний досвід застосування різних технологічних рішень при очищенні води від заліза [16-18], найбільш доцільним для умов сільгоспводопостачання є використання:

- спрощеної аерації, що здійснюється шляхом розбризкування підземної води на дрібні краплі та їх падіння з висоти не менше 0,5 м;
- біологічного методу окислення двовалентного заліза з наступним переведенням його у тривалентну форму за допомогою залізобактерій, прикріплених до волокнистого завантаження біореактора, що значно прискорює процеси водочистки у порівнянні з фізико-хімічним методом;
- легкого плаваючого завантаження фільтра, що має низку переваг у порівнянні з важкими матеріалами і дозволяє значно спростити експлуатацію фільтра як в робочому режимі, так і під час промивки, при забезпеченні високої якості фільтрованої води й економії ресурсів;
- сил гравітації завдяки висхідному фільтруванню води через плаваюче завантаження, що дозволяє затримувати пластівці з гідроксиду заліза ще у підфільтровому просторі як у прояснювачах із завислим осадом, збільшуючи брудомісткість фільтра і тривалість фільтроциклу та підвищуючи ефективність водоочищення;
- бактерицидних установок для знезараження води.

Оскільки у схемі водопостачання села передбачається використання водонапірної башти Рожновського, то доцільним буде водоочисну установку по знезалізненню води влаштувати не окремою спорудою, а розташувати її прямо всередині водонапірної башти (рис. 3).

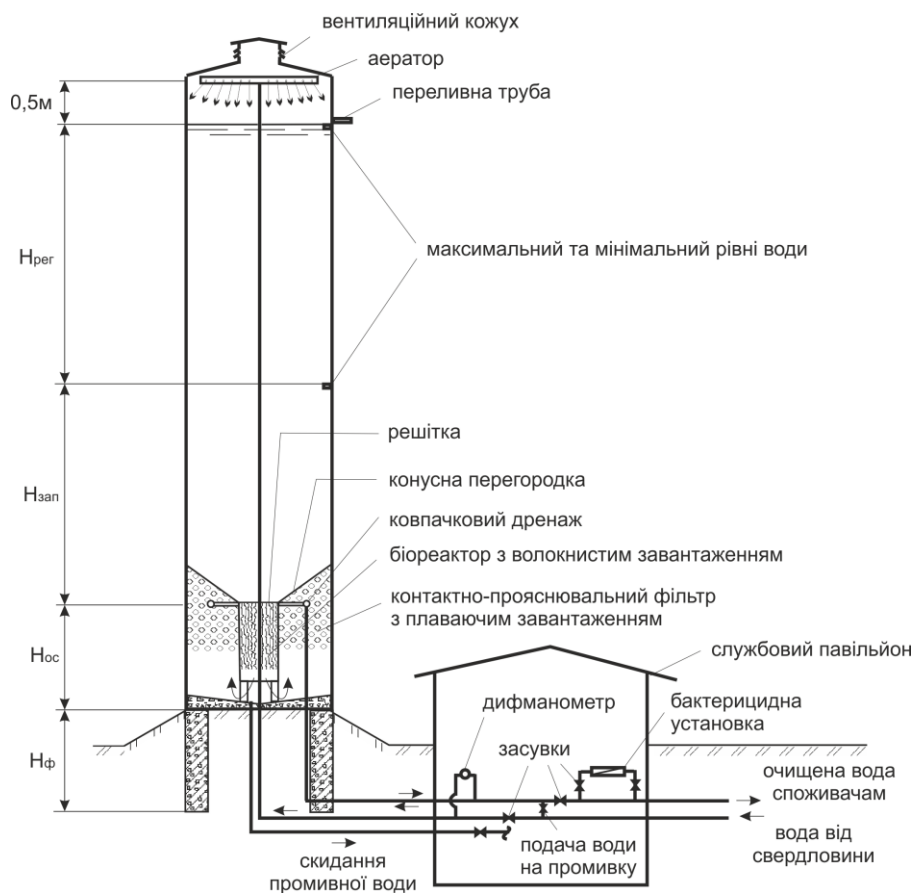


Рис. 3. Технологічна схема знезалізнення води на установці, змонтованій всередині водонапірної башти Рожновського

Fig. 3. Technological scheme of water de-ironing on the installation mounted inside the Rozhnovsky water tower

Принцип роботи водоочисної установки наступний. Вода від свердловини подається до аератора, де розбризкується на дрібні краплі, насичуючись киснем повітря, який необхідний для біохімічного окислення бікарбонатного заліза $Fe(HCO_3)_2$.

У біореакторі з волокнистим завантаженням коагулюється малорозчинний гідроксид заліза $Fe(OH)_3$, утворюючи крупні пластівці, що випадають у осад в підфільтровому просторі, а дещо дрібніші пластівці затримуються у нижньому шарі плаваючого фільтрувального завантаження й шарі пластівців, притиснених до завантаження фільтраційним потоком. З двох боків фільтр обмежений стінками ствола башти та біореактора, а у верхній частині він перекритий конусною перегородкою, яка має

витримувати вертикальну спливаючу силу фільтрувального завантаження.

Через вентиляційний кожух видаляється вуглекислий газ CO_2 , а у воді підвищується рН, що поліпшує коагуляцію нерозчинних сполук. Висоту падіння крапель води з аератора до максимального рівня води у башті приймають не менше 0,5 м, а мінімальний рівень води повинен бути достатнім, щоб забезпечити потрібний вільний напір у водопровідній мережі.

Водоочисною станцією управляють зі службового павільйону, де розміщується бактерицидна установка для знезараження води, дифманометр, яким контролюють трати напору у завантаженні фільтра, а також засувки для керування напрямками руху води при різних режимах.

Тривалість фільтроциклу встановлюють під час пусконаладжувальних робіт на водоочисній станції. Вона контролюється якісними показниками очищеної води на виході з установки і відповідних значеннях втрат напору у фільтрувальному завантаженні h_f , які вимірюють дифманометром. Фільтроцикл закінчується, коли якість очищеної води погіршується і показники вмісту заліза перевищують допустимі межі $C_{ф.н} = 0,2 \text{ мг/дм}^3$. Максимальні втрати напору у фільтрувальному завантаженні $h_{ф.макс}$ при цьому становлять близько 1 м.

При переключенні установки на режим промивки вода від свердловини через перемичку надходить у водовідвідну трубу башти і рухається у зворотному напрямку, проходить через ковпачковий дренаж і плаваюче пінополістирольне завантаження, вимиваючи з нього та підфільтрового простору накопичений осад із гідроксиду заліза $Fe(OH)_3$. Дуже важливо пам'ятати, що для того, щоб не заряджати фільтр на початку наступного фільтроциклу, під час його промивки необхідно залишати певну кількість осаду, що відповідає показнику мінімальної питомої брудомісткості $G_{б.мін}$.

Промивну воду відводять у каналізацію або поглинаючий колодезь, який спеціально влаштовують поблизу водонапірної башти. Після промивки фільтра скидають перший фільтрат і розпочинають новий фільтроцикл.

У порівнянні з типовими схемами водоочистки при застосуванні такої технології значно зменшуються капітальні й експлуатаційні витрати, внаслідок того, що не потрібні окремі приміщення для влаштування водоочисної станції, спорудження резервуара чистої води та будівництва насосної станції з розміщеними у ній робочими й промивними насосами.

Нині все більшого значення набувають принципи ресурсо- й енергозбереження [19-21]. Для забезпечення ефективної та енергоощадної експлуатації системи водопостачання в селі сумісну роботу водонапі-

рної башти і свердловини потрібно автоматизувати (рис. 4). З цією метою підібрано наступне обладнання:

- заглибний насос SP95-4;
- кожух охолодження D210x1250;
- кабель для питної води 4x6 мм²;
- кабельна муфта типу M1 4x10мм²;
- пристрій керування LC 242;
- електроди контролю рівнів EL1;
- кабель RD TML-B 1x1,5 мм².

Для керування сумісною роботою насоса та водонапірної башти застосовується пристрій LC 242. До нього можна підключити аналоговий датчик рівня, наприклад, датчик тиску, або цифровий датчик рівня, наприклад, поплавцевий вимикач. Дроти виводять через один із кабельних ввідів та кабельний лоток.

Блок контролю рівня вмикає та вимикає насос в залежності від рівня води, що вимірюється поплавцевими вимикачами або датчиком тиску. Коли досягнуто рівень запуску, насос розпочне роботу, і коли рівень води буде знижено до рівня зупинки, насос буде зупинений блоком керування. Крім того, буде сформовано аварійний сигнал у разі, наприклад, високого рівня води в резервуарі або несправності датчика. Блок керування може виконувати ще й такі функції:

- підтримка роботи двох насосів;
- ручне та автоматичне керування насосом;
- сполучення з Grundfos GO Remote по Bluetooth;
- індикація робочого режиму, наприклад, увімкнення живлення та роботи насоса;
- індикація аварійного сигналу та попередження, наприклад, про відсутність фази живлення та високий рівень води;
- захист електродвигуна та захист від обриву фаз;
- налаштування затримок зупинки, що відповідають фактичним робочим умовам;
- автоматичне чергування насосів.

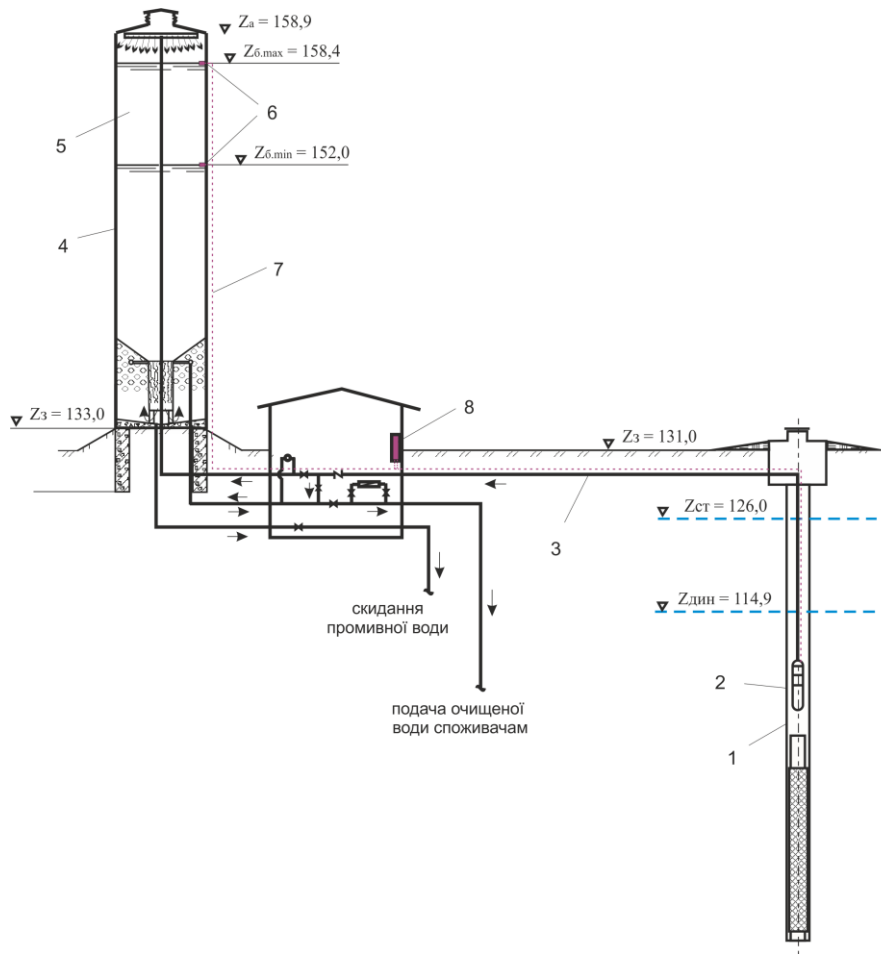


Рис. 4. Розрахункова схема подачі води у водонапірну башту автоматизованим свердловинним насосним агрегатом: 1 – водозабірна свердловина; 2 – насосний агрегат; 3 – водовід; 4 – водонапірна башта; 5 – регулюючий об’єм води; 6 – реле рівнів; 7 – електричний провід; 8 – шафа управління

Fig. 4. Calculation scheme of water supply to the water tower by an automated well pump unit: 1 – water intake well; 2 – pump unit; 3 – water supply; 4 – water tower; 5 – regulating volume of water; 6 – level relay; 7 – electric wire; 8 – control cabinet

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Проблема забезпечення споживачів якісною питною водою, особливо у сільській місцевості, досі не втратила своєї гостроти і потребує вирішення. На прикладі водозабезпечення села Велика Олександрівка Бориспільського району Київської області розглянуто причини та наслідки незадовільної якості води в системі централізованого сільгоспводопроводу, а також показано шляхи вирішення даної проблеми, що в сукупності дозволяють забезпечити споживачів питною водою нормативної якості.

Для цього рекомендується здійснити реконструкцію системи водопостачання села за такими напрямками:

1) заміна водопровідної мережі на стійкі до корозії труби з поліетилену;

2) застосування сучасних ефективних технологій знезалізнення підземних вод з використанням аератора, біореактора та контактено-прояснювального фільтра, які легко можуть бути змонтовані всередині водонапірної башти Рожновського;

3) автоматизація сумісної роботи водонапірної башти та свердловинного насоса, що поліпшить експлуатаційні показники системи водопостачання.

ЛІТЕРАТУРА

1. **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. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.38.18-37>
2. **Кравченко О., Куба Т., Потапенко С., Хоружий В., Аргатенко Т., Бакуновський О.** Планування та організація децентралізованих систем водопостачання у воєнний період в Україні // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2023. Вип. 44. С. 29-39. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.44.29-39>
3. **Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2021 році /** Міністерство розвитку громад та територій України, Київ, 2022. – 326 с. <https://mtu.gov.ua/content/nacionalna-dopovid-pro-yakist-pitnoi-vodi-ta-stan-pitnogo-vodopostachannya-v-ukraini.html>
4. **Gray N. F.** Water Technology. An Introduction for Environmental Scientists and Engineers. Elsevier Ltd, 2010. ISBN 978-1-85617-705-4
5. **Поляков В. Л., Мартинов С. Ю.** До теорії фізико-хімічного знезалізнення підземних вод та її інформаційного забезпечення // Чиста вода. Фундаментальні, практичні та промислові аспекти. Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції. Київ, 2017. 178-181.
6. **Олійник О. Я., Садчиков О. О.** Теоретичні дослідження знезалізнення води на двошарових фільтрах // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2013, 21, 14-22.
7. **Tekerlekopoulou A. G., Vasiliadou I. A., Vayenas, D. V.** Physico-chemical and biological iron removal from potable water // Biochemical Engineering Journal, 2006, 31 (1), 74-83. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2006.05.020>
8. **Квартенко О., Присяжнюк І.** Моделювання процесу біологічного знезалізнення підземних вод в контактному завантаженні біореакторів // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2022. Вип.41. С.19-30. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.41.19-30>
9. **Fujikawa Y.** Biological filtration using iron bacteria for simultaneous removal of arsenic, iron, manganese and ammonia: Application to waterworks facilities in Japan and developing countries // J. Human Environ. Studies, 2010, 9. 261-276.
10. **Sheng Y., Kaley B., Bibby K., Grettenberger Chr., Macalady Jen. L., Wang G., Burgos W. D.** Bioreactors for low-pH iron(II) oxidation remove considerable amounts of total iron // The Royal Society of Chemistry Advances, 2017, 7(57). 35962-35972. <https://doi.org/10.1039/c7ra03717a>
11. **Хоружий П. Д., Хомутецька Т. П., Хоружий В. П.** Ресурсозберігаючі технології водопостачання. К: Аграрна наука, 2008. 534 с.
12. **Arif A. U. A., Sorour M. T., Aly S. A.** Design and Comparison of Wastewater Treatment Plant Types (Activated Sludge and Membrane Bioreactor), Using GPS-X Simulation Program: Case Study of Tikrit WWTP (Middle Iraq) // Journal of Environmental Protection, 2018, 9, 636-651. <https://doi.org/10.4236/jep.2018.96040>
13. **Gürtekin E.** Experimental and numerical design of renewable-energy-supported advanced biological wastewater treatment plant // International Journal of Environmental Science and Technology. 2019, Volume 16, Issue 2, pp 1183-1192. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2088-x>
14. **Sargsyan A. M., Ilyin 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. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/988/5/052024>
15. **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). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001171](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001171)
16. **Хомутецька Т., Хоружий В., Нор В.** Оптимізація роботи установок при знезалізненні підземних і доочищенні стічних вод / Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. К.: КНУБА. 2022, №38., С.55-65. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.38.55-65>
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. **Хомутецька Т. П.** Енергоощадне водопостачання. К: Аграрна наука, 2016. 304 с.
20. **Torregrossa D., Hernández-Sancho F., Hansen J., Cornelissen A., Popov T., Schutz G.** Energy saving in wastewater treatment plants: A plant-generic cooperative decision support system // Journal of Cleaner Production, 2017. 167, 601-609. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.181>

21. Orlov V., Martynov S., Kunytskiy S. Energy saving in water treatment technologies with polystyrene foam filters // *Journal of Water and Land Development*, 2016, 31(1), 119-122. <https://doi.org/10.1515/jwld-2016-0042>

REFERENCES

1. 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>

2. Kravchenko, O., Kuba, T., Potapenko, S., Khoruzhy, V., Arhatenko, T., Bakunovskiy, O. (2023). Planning and organization of decentralized systems water supply in the war time in Ukraine. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulic*, 44. 29-39.

<https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.44.29-39>

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

4. Gray N. F. (2010). *Water Technology. An Introduction for Environmental Scientists and Engineers*. Elsevier Ltd. ISBN 978-1-85617-705-4

5. Poliakov, V. L., & Martynov, S. Yu. (2017). Do teoriiy fizyko-khimichnoho znezalznennia pidzemnykh vod ta yii informatsiinozabezpechennia. Chysta voda. *Fundamentalni, praktychni ta promyslovi aspekty. Materialy V Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsiyi*. Kyiv, 178–181. [in Ukrainian].

6. Oliynyk, O. Ya., & Sadchykov, O. O. (2013). Teoretychni doslidzhennia znezalznennia vody na dvosharovykh filtrakh. *Problemy vodopostachannia, vodovidvedennia ta hidravliki*, 21, 14–22. [in Ukrainian].

7. Tekerlekopoulou, A. G., Vasiliadou, I. A., & Vayenas, D. V. (2006). Physico-chemical and biological iron removal from potable water. *Biochemical Engineering Journal*, 31(1), 74–83. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2006.05.020>

8. Kvarntenko, O., & Prysiashniuk, I. (2022). Modeling the process of biological deferrization of underground waters in contact loading of bioreactor. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulic*, 41. 19-30. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.41.19-30>

9. Fujikawa, Y. (2010). Biological filtration using iron bacteria for simultaneous removal of arsenic, iron, manganese and ammonia: Application to waterworks facilities in Japan and developing countries. *J. Human Environ. Studies*, 9. 261–276.

10. Sheng, Y., Kaley, B., Bibby, K., Grettenberger, Chr., Macalady, Jen. L., Wang, G., & Burgos W. D. (2017). Bioreactors for low-pH iron(II) oxidation remove considerable amounts of total iron. *The Royal Society of Chemistry Advances*, 7(57). 35962–35972. <https://doi.org/10.1039/c7ra03717a>

11. Khoruzhy, P. D., Khomutetska, T. P., & Khoruzhy, V. P. (2008). *Resource-saving technologies of water supply: textbook*. way. Kyiv.: Agrarian Science. [in Ukrainian].

12. Arif, A. U. A., Sorour, M. T., & Aly, S. A. (2018). Design and Comparison of Wastewater Treatment Plant Types (Activated Sludge and Membrane Bioreactor), Using GPS-X Simulation Program: Case Study of Tikrit WWTP (Middle Iraq). *Journal of Environmental Protection*, 9, 636-651. <https://doi.org/10.4236/jep.2018.96040>

13. Gürtekin, E. (2019). Experimental and numerical design of renewable-energy-supported advanced biological wastewater treatment plant. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(2), 1183–1192. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2088-x>

14. Sargsyan, A. M., Ilyin, N. A., & Dronin, M. S. (2022). Commissioning of Water Treatment Facilities in Rural Areas. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 988(4) <https://doi.org/10.1088/1755-1315/988/5/052024>

15. 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). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001171](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001171)

16. Khomutetska, T., Khoruzhy V., Nor, V. (2022). Optimization management of installations at groundwater deironing and sewage treatment. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulics*, 38. 55-65. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.38.55-65>

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. (2016).** *Energy saving water supply*. Kyiv: Agricultural science. [in Ukrainian].
20. **Torregrossa, D., Hernández-Sancho, F., Hansen, J., Cornelissen, A., Popov, T., & Schutz, G. (2017).** Energy saving in wastewater treatment plants: A plant-generic cooperative decision support system. *Journal of Cleaner Production*, 167, 601-609. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.181>
21. **Orlov, V., Martynov, S., & Kynytsky, S. (2016).** Energy saving in water treatment technologies with polystyrene foam filters. *Journal of Water and Land Development*, 31(1), 119-122. <https://doi.org/10.1515/jwld-2016-0042>

Provision of high-quality drinking water to consumers of agricultural water pipes

Tetyana Khomutetska, Iryna Kondrytska, Tetyana Kurbanova, Viktor Nor

Abstract. Supplying consumers with drinking water whose quality indicators meet regulatory requirements is one of the most important tasks of the water supply industry. The problem of water supply in rural settlements is particularly acute, since more than 38% of rural water pipes, from which samples were taken for laboratory research, did not meet the requirements of the quality standard in terms of sanitary-chemical and microbiological indicators. At the same time, only a quarter of Ukrainian villages are provided with centralized water supply, and the rest of rural consumers still use water from individual water intakes, which in many cases are in an unsatisfactory sanitary and technical condition. On the example of the village of Velyka Oleksandrivka, Boryspil district, Kyiv region, where more than 6,000 people live, ways to solve the problem of providing consumers with drinking water of standard quality are shown. On the basis of laboratory analysis of the sample and studies of water supply facilities in this settlement, the causes of unsatisfactory water quality in the centralized agricultural water supply system were determined, the consequences of using such water were analyzed, and recommendations were developed to improve the situation. These recommendations refer to replacing the water supply network with corrosion-resistant polyethylene pipes; application of modern effective technologies for de-ironing groundwater using an aerator, bioreactor and contact-clarifying filter; automation of the joint operation of the water tower and the well pump.

Key words: agricultural water supply, water intake well, deironing, water tower, water supply network.

Стаття надійшла до редакції 15.11.2023