

2. Орлов В.О. Интенсификация работы водоочистных сооружений/ В.О. Орлов, Б.И. Шевчук. – К.: Будивэльник, 1989. – 128 с.,
3. Орлов В.О. Знезалізнення підземних вод для питних цілей/ Орлов В.О. [та ін.]. –Рівне: НУВГП, 2004. – 155 с.
4. Очищення природної води на пінополістирольних фільтрах :[монографія]/ [Орлов В.О. і ін.]; за загальною редакцією В.О. Орлова. – Рівне: НУВГП, 2012. – 172 с.
5. Сафонов Н. А. Самопромывающиеся водоочистные установки (технология, конструкции и расчет): [монография] / Н.А. Сафонов, А.Н. Квартенко, А.Н. Сафонов. – Ровно : РДТУ, 2000. – 155 с.

Надійшло до редакції 12.11.2015

УДК 628.1

О.В.ПЕТРОЧЕНКО, аспірант
Інститут водних проблем і меліорації НААНУ

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДИ ПРОДУКТАМИ ВНУТРІШНЬОЇ КОРОЗІЇ В ГРУПОВИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ВОДОПРОВОДАХ

Розглянуто проблему забруднення води в групових сільськогосподарських водопроводах. Наведено результати теоретичних і натурних досліджень забруднення води у сталевих водоводах продуктами внутрішньої корозії. Показано, що на групових сільськогосподарських водопроводах великої протяжності доцільно застосовувати інгібітори корозії. Встановлено, що групові водопроводи великої протяжності необхідно переводити на децентралізовані схеми підготовки і розподілу технічної води, при цьому частину технічної води в місцях споживання очищати до якості питної води.

Ключові слова: груповий сільськогосподарський водопровід; внутрішня корозія сталевих водоводів; швидкість корозії; децентралізована схема водопостачання, технічна вода; питна вода.

Рассмотрена проблема загрязнения воды в групповых сельскохозяйственных водопроводах. Приведены результаты теоретических и натурных исследований загрязнения воды в стальных водоводах продуктами внутренней коррозии. Показано, что на групповых сельскохозяйственных водопроводах большой протяженности целесообразно применять ингибиторы коррозии. Установлено, что групповые водопроводы большой протяженности необходимо переводить

на децентрализованные схемы подготовки и распределения технической воды, при этом часть технической воды в местах потребления очищать до качества питьевой воды.

Ключевые слова: групповой сельскохозяйственный водопровод; внутренняя коррозия стальных водоводов; скорость коррозии; децентрализованная схема водоснабжения, техническая вода; питьевая вода.

The problem of water pollution in the agricultural group long-distance pipelines has been considered. The results of theoretical and natural researches of water pipes contamination of internal corrosion products were presented. It is shown that in the group of agricultural water pipes long-distance appropriate to apply corrosion inhibitors. on the group of agricultural water pipes long-distance appropriate to apply corrosion inhibitors have been shown. Group pipelines long distance to be translated into decentralized schemes of preparation and distribution of industrial water, with some industrial water consumption in areas to clean up drinking water quality.

Key words: Group agricultural water supply; internal corrosion of steel culverts; corrosion rate; decentralized scheme of water supply, industrial water; drinking water.

Проблема та її актуальність. Жодна сфера життєдіяльності людини не обходиться без води. Але найбільшу цінність для людини становлять запаси прісної води, яку академік А.Є. Ферсман назвав «найбільш важливим мінералом на Землі» [1]. Прісна вода не перевищує 3% усіх водних ресурсів планети. 2/3 прісної води складається з льодовиків і снігу і тільки 1/3 її створюється річковим стоком і знаходиться у вигляді придатною для вживання рідини.

За визначенням Європейської комісії ООН, країна, в якій місцевий річковий стік менше 1,7 тис. м³/рік на одну людину, вважається водонебезпеченою. В Україні, згідно даних міжнародної екологічної статистики, запаси прісної води, які забезпечуються річковим стоком, складають 1,1 тис. м³/рік на одну людину [2]. Залежно від величини опадів, річковий стік в Україні коливається в межах від 48,8 до 83,5 млрд. м³/рік [3]. Проблема води в Україні загострюється ще й тим, що річковий стік розподілений по її території дуже нерівномірно. Біля 70% цього стоку припадає на північно-західні області України, де проживає 40% населення, а на південно-східні території, де проживає 60% населення і знаходиться 70% агропромислового комплексу країни, припадає всього 30% річкового стоку.

Дефіцит води у водонебезпечених регіонах України усувають шляхом перекидання води з річок за допомогою каналів і водопроводів. Для забезпечення населення південно-східних регіонів України доброякісною водою, а також для поліпшення санітарно-побутових умов проживання сільського населення, розвитку економіки і відродження села, ще в 60-х роках минулого століття була розроблена і почала впроваджуватись державна

програма будівництва понад 40 групових сільськогосподарських водопроводів. В подальшому з метою прискорення реалізації цієї програми та поліпшення централізованого водопостачання сільських населених пунктів була прийнята Постанова КМ УССР [4]. Але через недостатнє фінансування багато групових водопроводів не було побудовано, а деякі побудовані групові водопроводи експлуатуються за спрощеною схемою.

Груповими водопроводами здійснюється подача води від головних очисних споруд до споживачів на значні відстані, які для багатьох водопроводів України перевищують 40 км. Так Західний груповий водопровід, що у Запорізькій області, має довжину 175 км, Дніпро-Кіровоград – 116 км, Південно-Донбаський – 158 км. В процесі транспортування на великі відстані вода, яка була очищена на головних очисних спорудах групових водопроводів до нормативів питної води [5], забруднюється та втрачає свої органолептичні властивості. Забруднення води залежить від тривалості часу проходження води до споживачів, яка є функцією довжини водопроводу і швидкості руху води в ньому. Через неповне використання споживачами проектних потужностей групових водопроводів, швидкість руху води у водоводах зменшується, а тривалість часу проходження води до споживачів збільшується. Наприклад, на Західному груповому водопроводі вода від головних очисних споруд до м. Бердянська рухається до 8 діб, що негативно відображається на якості споживчої води [6].

У зв'язку з цим, виникає актуальна потреба в проведенні теоретичних і експериментальних досліджень з визначення основних параметрів процесу забруднення води на групових сільськогосподарських водопроводах.

Метою досліджень є встановлення функціональних залежностей процесу забруднення води продуктами внутрішньої корозії сталевих водоводів на групових сільськогосподарських водопроводах великої протяжності.

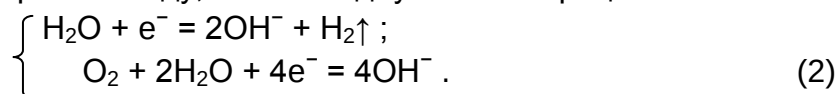
Теоретичні дослідження процесу внутрішньої корозії водоводів. Водоводи групових сільськогосподарських водопроводів України виконані із з'єднаних за допомогою зварювання сталевих труб, які піддаються корозії. На внутрішній поверхні сталевих труб утворюється плівка з окису заліза, яка частково осідає на трубах, а частково змивається потоком води. Вміст загального заліза у воді в процесі її транспортування значно збільшується, що призводить до погіршення інших органолептичних показників якості води – підвищується забарвленість і каламутність води, погіршується її запах, смак і присмак [6]. Оскільки інші органолептичні показники якості води під час її тривалого транспортування груповими водопроводами погіршуються внаслідок збільшення вмісту у воді загального заліза, то в першу чергу постає необхідність визначення показників забруднення води у водоводах сполуками заліза.

Сутність процесу внутрішньої електрохімічної корозії водоводів полягає в тому, що атоми заліза на різних ділянках внутрішньої поверхні водоводів під впливом різних факторів мають неоднакову здатність віддавати електрони

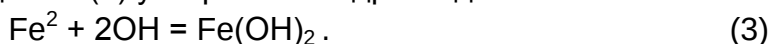
(окислюватись). Ділянки заліза, що втрачають електрони, виступають у ролі аноду:



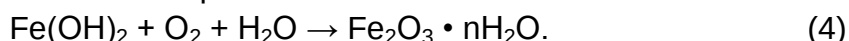
Інші ділянки виконують роль катоду, на яких відбуваються процеси:



З іонів заліза (1) і гідроксид іонів (2) утворюється гідроксид заліза:



Гідроксид заліза (3) окислюється далі з утворенням гідроксиду заліза (4), який складає основний компонент іржи:



Продукти окислення заліза важкорозчинні у воді, тому тільки незначна частина оксидів, головним чином шляхом дифузії, потрапляє у воду, підвищуючи вміст у воді загального заліза. Основна частина продуктів внутрішньої корозії сталевих водоводів накопичується на їхніх стінках. Обробка води гіпохлоритом натрію або рідким хлором на головних очисних спорудах сприяє підвищенню швидкості електрохімічної корозії, проте гальмує розвиток біологічної корозії.

Швидкість корозії оцінюється глибинним K_δ (мм/рік) та масовим K_m (г/м²·добу) показниками корозії. Глибинний показник корозії K_δ визначається вимірюванням товщини шару металу, втраченого внаслідок корозії на протязі одного року. Масовий показник корозії визначається за результатами гравіметричних вимірювань за формулою:

$$K_m = \frac{\Delta m}{St_k} \quad (5)$$

де Δm – маса металу, що переходить у іржу, г; S – площа поверхні зразку, м²; t_k – тривалість випробувань, доба.

Глибинний і масовий показники корозії знаходяться у співвідношенні:

$$K_\delta = \frac{0,365 K_m}{\rho_{cm}} = 0,0468 K_m \quad (6)$$

де ρ_{cm} – щільність сталі, $\rho_{cm} = 7,8$ г/см³.

Для зниження швидкості корозії водоводів використовуються інгібітори корозії, ефективність дії яких оцінюється коефіцієнтом гальмування корозії k_k :

$$k_k = K_{m1} / K_{m2} = K_{\delta1} / K_{\delta2} \quad (7)$$

де K_{m1} , $K_{\delta1}$ – швидкість корозії без застосування інгібітору; K_{m2} , $K_{\delta2}$ – швидкість корозії із застосуванням інгібітору.

Глибинний показник швидкості корозії доцільно використовувати у техніко-економічних розрахунках групових сільськогосподарських водопроводів для визначення граничного строку $[T_e]$ подальшої експлуатації водоводу таким чином. Запишемо умову міцності на розрив стінки сталевих водоводу в площині подовжнього перетину водоводу, у якій стінка водоводу найбільш напружена:

$$\sigma_{cm} = \frac{pd}{2\left(\delta_t - \frac{K_\delta}{k_K} T_e\right)} \leq [\sigma_{cm}], \quad (8)$$

де σ_{cm} – напруження тиском води стінки водоводу у подовжньому перерізі, Па; $[\sigma_{cm}]$ – максимально допустиме напруження на розрив стінки водоводу, Па; p – розрахунковий тиск води у водоводі, Па; d – внутрішній діаметр водоводу (D_y), мм; δ_t – товщина стінки водоводу у поточному році t , мм; T_e – строк подальшої експлуатації водоводу, починаючи з поточного t -го року, рік; K_δ – швидкість внутрішньої корозії водоводу без інгібітору, мм/рік; k_K – коефіцієнт гальмування корозії інгібітором.

Прийнявши граничні значення: $\sigma_{ct}=[\sigma_{ct}]$; $T_e=[T_e]$, де $[T_e]$ – граничний строк подальшої експлуатації водоводу, умова (8) буде мати вигляд:

$$\frac{pd}{2\left(\delta_t - \frac{K_\delta}{k_K} [T_e]\right)} = [\sigma_{cm}], \quad (9)$$

звідки:

$$[T_e] = \frac{k_K}{K_\delta} \left(\delta_t - \frac{pd}{2[\sigma_{cm}]} \right). \quad (10)$$

Забруднення води у водоводах групових сільськогосподарських водопроводів оцінюється показником забруднення води сполуками заліза γ_z – вмістом загального заліза, у $г/м^3$ або у $мг/дм^3$. Показник γ_z залежить від швидкості забруднення води сполуками заліза K_γ , яка визначається у грамах заліза, що переходить у воду з одного метра квадратного внутрішньої поверхні водоводу за одну добу або секунду. Швидкість K_γ має таку ж розмірність, що і K_m , але вона менша за величиною ($K_\gamma < K_m$), оскільки тільки частина продуктів корозії заліза потрапляє у воду, а частина їх накопичується на стінках водоводу.

В основу теоретичних досліджень процесу забруднення води сполуками заліза покладені такі припущення (рис. 1). В межах рекомендованого нормативним документом [7] діапазону швидкості руху води у зовнішніх водоводах $0,8 \text{ м/с} < v < 4,0 \text{ м/с}$ швидкість забруднення води K_γ і швидкість внутрішньої корозії K_m водоводу вважаються незалежними від швидкості v руху води у водоводі. Тобто, починаючи з певної швидкості руху води $v_{cm.k}$ ($0 < v_{cm.k} < 0,8 \text{ м/с}$), швидкість процесу корозії і швидкість процесу забруднення води сполуками заліза стабілізуються і будуть постійними. Тому приймається: $K_m = \text{const}$; $K_\gamma = \text{const}$ (рис.1а).

Припускається також, що у трубопроводі певного діаметру маємо лінійну залежність $\gamma_z = \Phi(t)$ вмісту загального заліза у воді від тривалості t проходження води по водоводу (рис.1б).

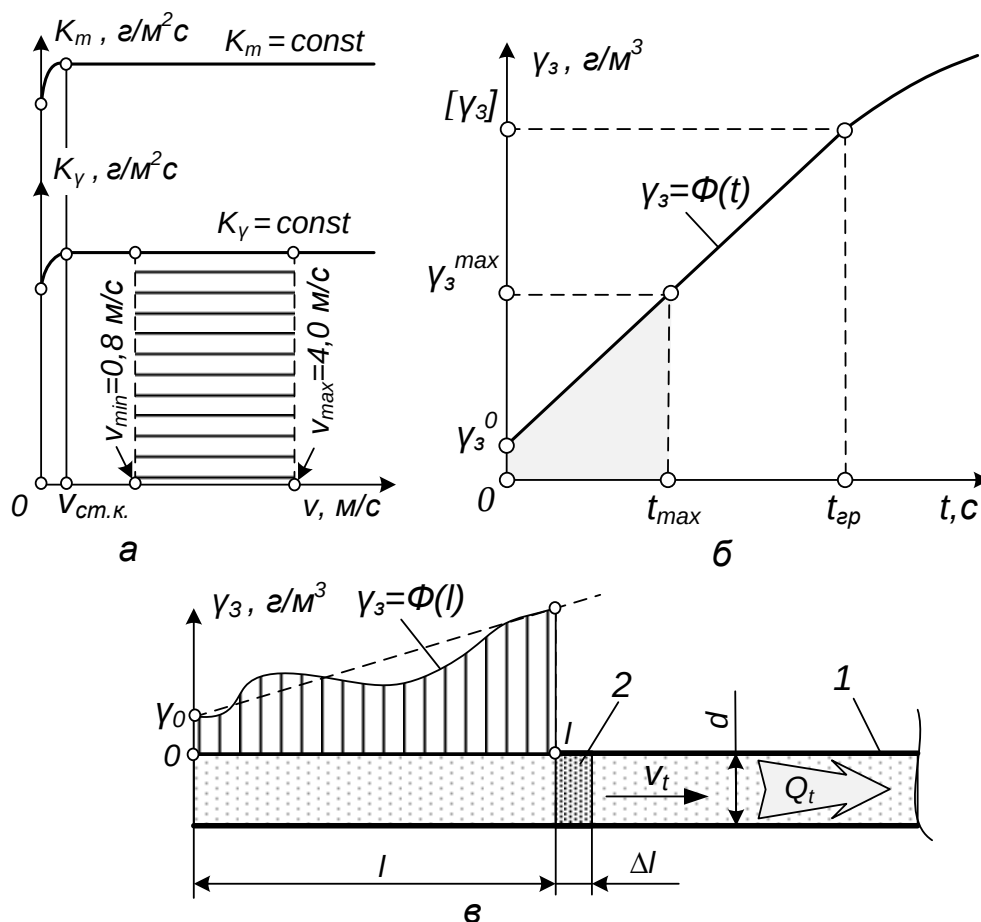


Рис.1. Априорні припущення до теоретичного визначення функціональної залежності вмісту загального заліза γ_3 у воді по довжині сталевго водоводу: **а** – характер залежностей швидкості K_m корозії внутрішніх стінок сталевго водоводу та швидкості K_v насичення води сполуками заліза від швидкості v руху води у водоводі; **б** – характер накопичення в воді сполук заліза залежно від тривалості руху води у водоводі; **в** – розрахункова схема визначення залежності вмісту загального заліза у воді від довжини водоводу; 1 – водовід; 2 – виділений елементарний об'єм води

Вважається, що в реальних умовах подачі води груповими водопроводами максимальна тривалість проходження води через водовід t_{max} не досягає граничного значення тривалості t_{gr} , за межами якого відбудеться насиченість води продуктами корозії заліза та порушиться лінійний характер функції $\gamma_3 = \Phi(t)$.

Виділимо у загальному потоці води водовода 1 (рис.1в) елементарний об'єм води 2 довжиною Δl . Загальний вміст заліза у виділеному об'ємі 2 складає:

$$\gamma_3^l = \gamma_3^0 + \frac{\Delta G_{\Delta l}}{V_{\Delta l}}, \quad (11)$$

де l – поточна координата знаходження виділеного об'єму води 2 в порожнині водовода, м; γ_3^0 – початковий вміст загального заліза у воді на координаті $l=0$, г/м³; γ_3^l – вміст загального заліза у воді на координаті $l>0$, г/м³; $V_{\Delta l}$ – об'єм

води, на ділянці водоводу довжиною Δl , м; $\Delta G_{\Delta l}$ – збільшення маси загального заліза в об'ємі води $V_{\Delta l}$ при проходженні ним шляху l , г.

Збільшення маси загального заліза $\Delta G_{\Delta l}$ розраховується за формулою:

$$\Delta G_{\Delta l} = K_{\gamma} \pi d \Delta l t_l, \quad (12)$$

де K_{γ} – швидкість насичення води сполуками заліза, г/м²с; t_l – проміжок часу, за який виділений об'єм води $V_{\Delta l}$ (рис.1в) проходить шлях довжиною l , с.

Об'єм води $V_{\Delta l}$ розраховується за формулою:

$$V_{\Delta l} = \frac{\pi d^2 \Delta l}{4}. \quad (13)$$

Підставивши у (11) значення ΔG_l з (12) та значення $V_{\Delta l}$ з (13), маємо:

$$\gamma_3^l = \gamma_3^0 + \frac{4K_{\gamma} t_l}{d}. \quad (14)$$

За формулою (14) визначається вміст загального заліза у воді на координаті l в межах окремої ділянки водоводу. Оскільки водовод групового водопроводу складається з багатьох ділянок, постає потреба визначення вмісту у воді загального заліза в кінці кожної ділянки. При цьому за початкові та кінцеві точки ділянок водоводу слід приймати точки: виділу води споживачам; галуження водоводу; переходу гілок водоводу до іншого діаметру.

Теоретичні залежності вмісту загального заліза у воді на кінці ділянок водоводу встановлюються для двох режимів подачі води – з постійною ($Q_l = \text{const}$) і змінною ($Q_l \neq \text{const}$) витратою води на протязі доби.

Якщо витрата води є постійною, період часу t_l подачі води водоводом на відстань l визначається за формулою:

$$t_l = \frac{\pi d^2 l}{4Q_l}. \quad (15)$$

Підставивши значення t_l з (15) у (14), маємо:

$$\gamma_3^l = \gamma_3^0 + \frac{K_{\gamma} \pi d l}{Q_l}. \quad (16)$$

Відповідно до (16) вміст загального заліза у воді γ_3^i і γ_3^N у кінцевих точках кожної проміжної i -ї та кінцевої N -ї ділянки водоводу визначається за формулами:

$$\gamma_3^i = \gamma_3^{i-1} + \frac{K_{\gamma}^i \pi d_i L_i}{Q_i}; \quad (17)$$

$$\gamma_3^N = \gamma_3^{N-1} + \frac{K_{\gamma}^N \pi d_N L_N}{Q_N}, \quad (18)$$

де i – індекс проміжної ділянки водоводу; N – індекс кінцевої ділянки усього водоводу або його окремої гілки; γ_3^{i-1} – вміст загального заліза у воді у кінцевій точці попередньої $(i-1)$ -ї ділянки та на початку i -ї ділянки, г/м³; γ_3^i – вміст загального заліза у воді у кінцевій точці i -ї ділянки водоводу, г/м³; γ_3^{N-1} і γ_3^N – вміст загального заліза у воді на початку і у кінцевій точці кінцевої N -ї ділянки усього водоводу або окремої гілки розгалуженого водоводу, г/м³; K_{γ}^i і K_{γ}^N –

швидкість насичення води сполуками заліза на i -й і N -й ділянці водоводу, г/м²с; d_i і d_N – діаметр i -ї і N -ї ділянки водоводу, м; L_i і L_N – довжина i -ї і N -ї ділянки водоводу, м; Q_i і Q_N – витрата води на i -й і N -й ділянці водоводу, м³/с.

Якщо витрата води на ділянках водоводу змінюється на протязі доби ($Q_i \neq \text{const}$) і вона не може бути визначена у вигляді аналітичної залежності, вміст загального заліза у воді γ_3^i і γ_3^N визначається відповідно до (14) за формулами:

$$\gamma_3^i = \gamma_3^{i-1} + \frac{4K_\gamma^i t_i}{d_i}; \quad (19)$$

$$\gamma_3^N = \gamma_3^{N-1} + \frac{4K_\gamma^N t_N}{d_N}, \quad (20)$$

де t_i і t_N – тривалість (період часу) проходження елементарним об'ємом води i -ї і N -ї ділянки водоводу, який визначається експериментальним шляхом, с.

За період часу t_i елементарний об'єм води проходить від початкової до кінцевої точки i -ї ділянки. При цьому через кінцеву точку i -ї ділянки за період часу t_i проходить об'єм води V_i :

$$V_i = \frac{\pi d_i^2 L_i}{4}, \quad (21)$$

де V_i – ємність робочої порожнини i -ї ділянки водоводу, м³.

За таких умов період часу t_i вимірюється за допомогою хронометра, від моменту включення інтеграційного витратоміра (лічильника води) до моменту часу, коли показання лічильника води V_i^e буде дорівнювати об'єму води V_i ($V_i^e = V_i$), розрахованого за формулою (21).

При застосуванні методів автоматизованого розрахунку вмісту у воді загального заліза γ_3^i і γ_3^N на ділянках мереж групових водопроводів доцільно замість формул (17)–(20) використовувати відповідні до них адитивні функції:

$$\gamma_3^i = \sum_{\theta=1}^i \left(\gamma_3^0 + \frac{K_\gamma^\theta \pi d_\theta L_\theta}{Q_\theta} \right), \quad \theta = \overrightarrow{1, i}; \quad (22)$$

$$\gamma_3^{\max} = \gamma_3^N = \sum_{i=1}^N \left(\gamma_3^0 + \frac{K_\gamma^i \pi d_i L_i}{Q_i} \right), \quad i = \overrightarrow{1, N}; \quad (23)$$

$$\gamma_3^i = \sum_{\theta=1}^i \left(\gamma_3^0 + \frac{4K_\gamma^\theta t_\theta}{d_\theta} \right), \quad \theta = \overrightarrow{1, i}; \quad (24)$$

$$\gamma_3^{\max} = \gamma_3^N = \sum_{i=1}^N \left(\gamma_3^0 + \frac{4K_\gamma^i t_i}{d_i} \right), \quad i = \overrightarrow{1, N}, \quad (25)$$

де θ – індекс ділянок водоводу, розташованих перед i -ю ділянкою.

Натурні дослідження процесу забруднення води сполуками заліза на Західному груповому водоводі. Для перевірки результатів теоретичних досліджень у травні 2014 року були проведені натурні дослідження забруднення води у водоводі Західного групового водопроводу (ЗГВ), рис. 2.

Основною задачею натурних досліджень було експериментальне визначення показників забруднення води $[\gamma_3^i]$ і $[\gamma_3^N]$ у кінцевих точках ділянок водоводу для порівняння їх з показниками γ_3^i і γ_3^N , розрахованими за теоретичними залежностями (19) і (20).

Методика та результати натурних досліджень. Водовід ЗГВ за вище наведеними критеріями був поділений на три ділянки. На початку і в кінці кожної ділянки фіксувались показники лічильників води та відбирались проби води, яка подавалась з кінцевих точок цих ділянок споживачам. Перша ділянка починається від майданчика 5 (рис. 2) головних очисних споруд і закінчується на майданчику 7 камери переключень та подачі води у с.м.т. Приазовське. Друга ділянка починається від майданчика 7 і закінчується на майданчику 8 подачі води у м. Приморськ. Третя ділянка водоводу починається від майданчика 8 і закінчується на комплексі 9 перед очисними спорудами м. Бердянська (рис. 2).

Першу пробу води з показником вмісту у воді загального заліза $[\gamma_3^1]=0,19\text{г/м}^3$ відбирали на початку першої ділянки 12 травня 2014 року о 9 годині. Другу пробу води з показником $[\gamma_3^1]=0,51\text{г/м}^3$ відбирали в кінці першої (на початку другої) ділянки через інтервал часу $t_1=109100\text{с}$, за який показання лічильника води на майданчику 7 (рис. 2) збільшилось на величину $V_1^e=V_1=46695\text{м}^3$, де об'єм води V_1 розраховувався за формулою (21). По закінченню інтервалу часу t_1 в момент відбору другої проби води фіксувався початок відліку інтервалу часу t_2 і об'єму води на лічильнику в кінці другої ділянки. Третю пробу води з показником $[\gamma_3^2]=1,47\text{г/м}^3$ відбирали в кінці другої (на початку третьої) ділянки через інтервал часу $t_2=302200\text{с}$, за який показання лічильника води на майданчику 8 (рис. 2) збільшилось на величину $V_2^e=V_2=111815\text{м}^3$, де об'єм води V_2 розраховувався за формулою (21). Аналогічним чином останню четверту пробу води з показником $[\gamma_3^3]=1,98\text{г/м}^3$ відбирали перед очисними спорудами м. Бердянська через інтервал часу $t_3=128960\text{с}$. Натурні дослідження процесу забруднення води тривали на протязі 6 діб, 6 годин і 4 хвилин. За цей час вода безперервно рухалася від майданчика 5 (рис. 2), де була взята її перша проба, до комплексу до комплексу 9 очисних споруд м. Бердянська, де 18 травня 2014 року у 15 годин 4 хвилини була взята її остання проба.

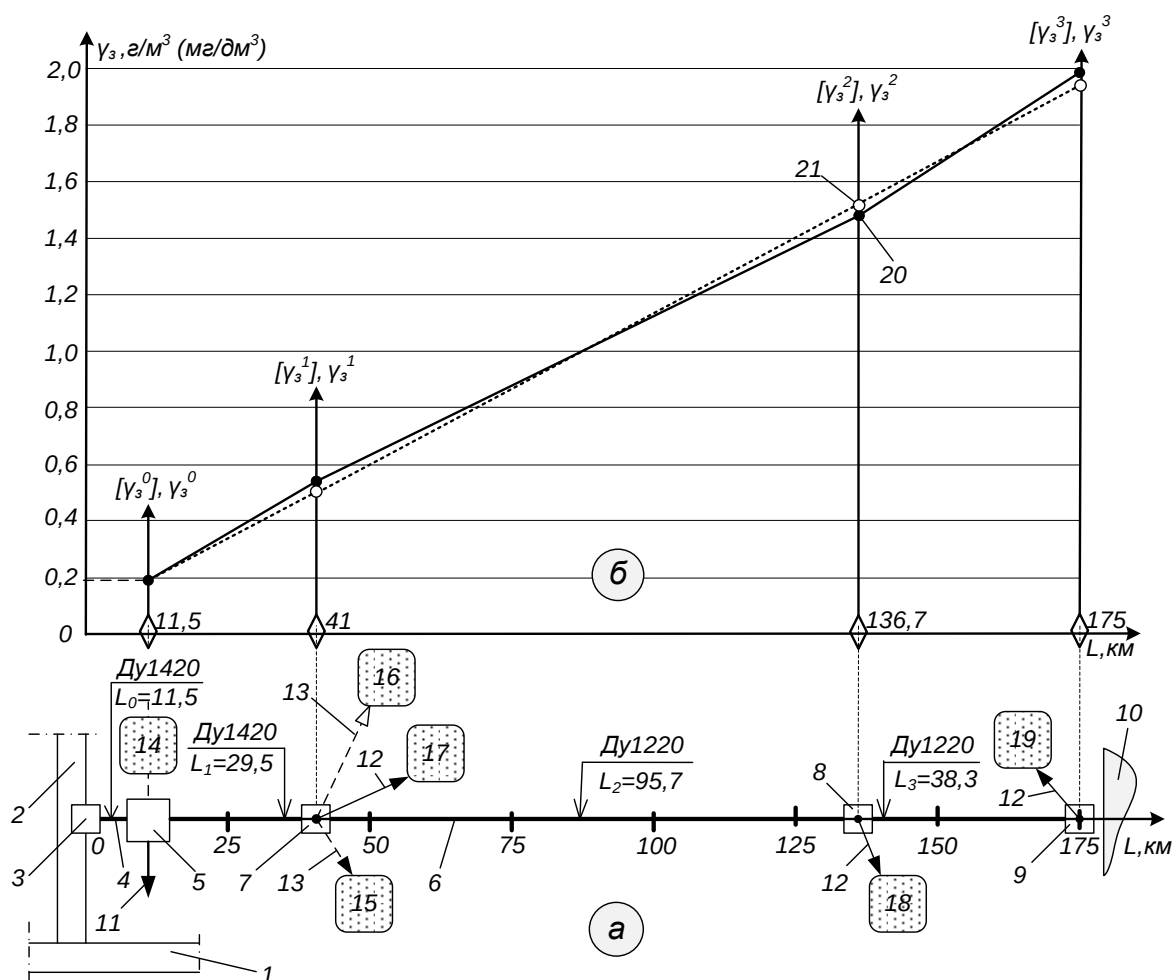


Рис. 2. Лінійна схема ЗГВ та залежність забруднення води
в ньому сполуками заліза:

а – лінійна схема ЗГВ; **б** – графіки забруднення води сполуками заліза по довжині водоводу; **1** – Каховський магістральний канал; **2** – канал Р-9; **3** – комплекс водозабірних споруд і насосної станції першого підняття; **4** – напірний водогін від НС-1 до водоочисних споруд; **5** – майданчик головних водоочисних споруд і НС-2; **6** – водовод ЗГВ; **7** – майданчик камери переключень подачі води; **8** – майданчик НС-2; **9** – комплекс очисних споруд м. Бердянська і НС-3; **10** – Азовське море; **11** – скидання промивних вод у р. В. Утлюг; **12** – водопостачання населеного пункту, що підключене від ЗГВ; **13** – водопостачання населеного пункту, що тимчасово призупинене; **14** – селище Новоданилівка; **15** – с. м. т. Якимівка; **16** – м. Мелітополь; **17** – с.м.т.Приазовське; **18** – м. Приморськ; **19** – м. Бердянськ; **20** і **21** – експериментальна і теоретична залежності забруднення води сполуками заліза у ЗГВ

Таблиця 1

Результати досліджень забруднення води сполуками заліза у ЗГВ

Параметр			Од. вим.	Ділянки водоводу			
Позна- чення	Вимі- рюваний	Розрахо- ваний за формулою		0	1	2	3
d_i	+	-	м	1,42	1,42	1,22	1,22
L_1	+	-	м	11500	29500	95700	38300
V_i	-	(21)	м ³	-	46695	111815	44749
V_i^e	+	-	м ³	-	46695	111815	44749
t_i	+	-	с	-	109100	302200	128960
$[\gamma_3^i]$	+	-	г/м ³	0,19	0,51	1,47	1,98
$\Delta[\gamma_3^i]$	+	-	г/м ³	-	0,32	0,96	0,51
K_{γ}^i	-	(27)	г/м ² с	-	$1,04 \times 10^{-6}$	$0,97 \times 10^{-6}$	$1,21 \times 10^{-6}$
K_{γ}	-	(29)	г/м ² с	$1,008 \times 10^{-6}$			
$\Delta\gamma_3^i$	-	(26)	г/м ³	-	0,31	1,0	0,43
γ_3^i		(19)	г/м ³	0,19	0,5	1,5	1,93

За результатами натурних досліджень на кожній ділянці визначалась відповідно до формули (19) величина збільшення у воді вмісту заліза $\Delta[\gamma_3^i]$:

$$\Delta[\gamma_3^i] = [\gamma_3^i] - [\gamma_3^{i-1}] = \frac{4K_{\gamma}^i t_i}{d_i}, \quad (26)$$

звідки на кожній ділянці визначались експериментальні значення швидкості K_{γ}^i насичення води сполуками заліза за формулою:

$$K_{\gamma}^i = \frac{d_i [\gamma_3^i]}{4t_i}. \quad (27)$$

За умови $K_{\gamma}^i \neq \text{const}$ експериментальна залежність $[\gamma_3^i]$ від довжини водоводу ЗГВ представлена графіком 20 на рис. 2.

Оскільки ділянки сталевих водоводів ЗГВ виконані з одного матеріалу, а агресивні властивості води в процесі її транспортування не змінюються, то вважається, що для усього водоводу повинно бути $K_{\gamma}^i = K_{\gamma} = \text{const}$. Величина K_{γ} визначалась за методом найменших квадратів як середньо зважена на базі трьох експериментальних значень K_{γ}^i . Для цього за умови $K_{\gamma}^i = K_{\gamma} = \text{const}$ відповідно до формули (26) була прийнята довірна функція:

$$y_i = K_{\gamma} x_i, \quad (28)$$

$$\text{де } y_i = \Delta[\gamma_3^i]; \quad x_i = \frac{4t_i}{d_i}.$$

За методом найменших квадратів величина K_{γ} була розрахована так:

$$K_{\gamma} = \frac{\sum_{i=1}^3 y_i x_i}{\sum_{i=1}^3 x_i^2} = 1,008 \cdot 10^{-6} \text{ г/м}^2 \cdot \text{с} = 0,0871 \text{ г/м}^2 \cdot \text{добу}. \quad (29)$$

Підставивши у формулу (19) замість $K\gamma^i$ величину $K\gamma$, визначену з (29), маємо графік 21 (рис. 2) теоретичної залежності γ_z^i від довжини водоводу ЗГВ, який відповідає графіку 20 експериментальної залежності γ_z^i .

Висновки

1. Встановлено, що вода, яка подається споживачам груповими сільськогосподарськими водопроводами на великі відстані, не відповідає нормативам питної, вона забруднюється в основному продуктами внутрішньої корозії сталевих водоводів, які накопичується на стінках водоводів і частково зважуються у воді, у зв'язку з чим виникає необхідність повторної очистки води у місцях її споживання та періодичній промивці сталевих водоводів.

2. Теоретичними та натурними дослідженнями встановлено, що величина забруднення води у сталевих водоводах групових сільськогосподарських водопроводів продуктами внутрішньої корозії може бути представлена у вигляді адитивної функції трьох параметрів: швидкості насичення води сполуками заліза; тривалості часу проходження води через ділянки водоводу; діаметру ділянок водоводу.

3. Проблема забруднення води при її транспортуванні груповими сільськогосподарськими водопроводами на великі відстані потребує впровадження нових концептуальних підходів у водопостачанні населених пунктів маловодних регіонів України, одним з яких є переведення централізованої системи підготовки і подачі води груповими водопроводами на децентралізовану, яка передбачає попереднє очищення води на головних спорудах найбільш простим та дешевим способом до якості технічної води та остаточного очищення 10-15% технічної води в місцях її споживання до якості питної.

Список літератури

1. Ферсман А.Е. Геохимия / А.Е Ферсман. – М.: АН СССР, 1959. – 224 с.
2. StatInfo.biz – Міжнародна економічна статистика [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://statinfo.biz/Data.aspx?act=6467&lang=1>.
3. Водні ресурси: використання, охорона, управління / А.В. Яцик, Ю.М. Грищенко, Л.А. Волкова, І.А. Пашенок. – К.: Генеза, 2007. – 360с.
4. Постанова Кабінету Міністрів УРСР від 24 липня 1986 р. №261 Про заходи щодо подальшого поліпшення централізованого водопостачання сільських населених пунктів.
5. ДСанПіН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною: Затверджено наказом Міністерства охорони здоров'я України 12.05.2010 N 400.
6. Хоружий П.Д., Петроченко О.В. Аналіз роботи Західного групового водопроводу Запорізької області / П.Д. Хоружий, О.В. Петроченко // Водне господарство України. – 2012, – №5. – С. 27-30.
7. ДБН В.2.5-74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі і споруди.

Надійшло до редакції 02.04.2015