

ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ УСТАНОВОК ПРИ ЗНЕЗАЛІЗНЕННІ ПІДЗЕМНИХ І ДООЧИЩЕННІ СТІЧНИХ ВОД

Тетяна Хомуцька¹, Віктор Хоружий², Віктор Нор³

^{1,2}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

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

³Інститут водних проблем і меліорації НААН

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

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

DOI: 10.32347/2524-0021.2022.38.55-65

Анотація. В сучасних умовах збільшення антропогенного тиску на довкілля скидання значних обсягів неочищених або недостатньо очищених стічних вод в природні водні об'єкти призводить до погіршення якості води в джерелах питного водопостачання. Тому величезного значення набувають не тільки концептуальні зусилля щодо недопущення забруднення навколишнього середовища і забезпечення споживачів якісною питною водою, але й повинні розкриватися механізми їх реалізації. В цьому аспекті однією з головних задач є запровадження новітніх засобів, матеріалів і конструкцій споруд водоочищення і контролю якості води, яка подається споживачам або скидається в природні джерела. Забруднення, що надходять у водні об'єкти, змінюють їх фізико-хімічні та біологічні показники й призводять до ускладнень роботи споруд водопостачання. Вирішенню зазначених проблем сприяє застосування удосконалених технологій очищення як питних, так і стічних вод. Не менш важливим питанням є встановлення оптимальних режимів роботи водоочисних установок, при яких забезпечується максимальна ефективність їх експлуатації, збереження водних і енергетичних ресурсів, отримання гарантованої якості очищеної води. В статті обґрунтовано застосування природних механізмів в процесах знезалізнення води з підземних джерел та доочищення стічних вод. Узагальнений аналіз роботи установок з біореактором і контактним прояснювальним фільтром протягом фільтроциклу дозволив встановити, що забезпечення нормативної якості фільтрованої води відбувається тільки в межах між мінімальною G_{\min} і максимальною G_{\max} питомими брудомісткостями фільтра. Запропоновано здійснювати автоматизацію управління роботою таких установок при контролі дифманометром максимальних втрат напору на фільтрі, що відповідають величині G_{\max} , з переключенням її в режим промивки. При виконанні промивки фільтра необхідно забезпечити зменшення питомої кількості активного мулу від G_{\max} до G_{\min} , контролюючи тривалість промивки заданої інтенсивності за допомогою реле часу. Запропоновані заходи дають значну економію витрат води і електроенергії при експлуатації установок.

Ключові слова: підземні води, стічні води, знезалізнення, водоочищення, біореактор, контактний прояснювальний фільтр.

ВСТУП

Значний антропогенний вплив на водні джерела України внаслідок скидання неочищених або недостатньо очищених стічних вод призводить до порушення екологічної рівноваги, наносить суттєві

збитки народному господарству та шкоду довкіллю, а також значно ускладнює процеси отримання якісної питної води в системах водопостачання. Тому актуальними залишаються задачі впровадження ефективних технологій водопід-

готовки та конструкції установок, що застосовуються як для доочищення стічних вод, так і для підготовки води питної якості, а також забезпечення їх регурсо-та енергозберігаючої роботи протягом терміну експлуатації.

Для систем водопостачання технологічні основи та інноваційні пріоритети, інструменти моделювання процесів очищення питної води і екологічного проектування споруд розкрито в наукових роботах [1-3].

Фізико-хімічному і біологічному очищенню стічних вод, проектуванню та порівнянню типів очисних установок, дослідженню можливості розширення процесів окислення забруднень присвячено низку праць [4-8]. Особливості застосування нових підходів у водопідготовці, введення в експлуатацію очисних споруд у сільській місцевості та забезпечення їх ефективного управління освітлено в публікаціях [9-13].

При проектуванні водоочисних станцій важливо враховувати переваги і недоліки існуючих технологій і методів водопідготовки, здійснюючи остаточний вибір в кожному конкретному випадку залежно від вихідних даних, показників якості води та потрібного ступеня її очищення, економічних й екологічних чинників. Аналіз літературних джерел, результатів новітніх досліджень в галузі водопідготовки та досвід роботи існуючих водоочисних станцій дає змогу приймати обґрунтовані рішення при проектуванні, будівництві й експлуатації систем водопостачання та водовідведення.

МЕТА І МЕТОДИ

Метою досліджень є узагальнюючий аналіз роботи установок з біореактором та контактено-прояснювальним фільтром для очищення підземних та доочищення стічних вод в системах водопостачання і водовідведення, обґрунтування режимів експлуатації споруд, що дозволяють економити водні та енергетичні ресурси. Для досягнення поставленої мети вико-

ристовували аналітичні методи обробки інформації, використання дослідних даних, отриманих в лабораторних і виробничих умовах.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ

Для очищення природних і доочищення стічних вод доцільно застосовувати природні механізми видалення шкідливих домішок, одним з яких є використання аеробних мікроорганізмів [2, 4-6].

Окислення розчиненої у воді сполуки двовуглекислого заліза $Fe(HCO_3)_2$ в малорозчинну сполуку гідроксиду заліза $Fe(OH)_3$ може досить швидко здійснюватися за допомогою залізобактерій *Gallionella ferruginea*, що використовують виділену в даному процесі енергію для своєї життєдіяльності. При цьому отриманий гідроксид заліза $Fe(OH)_3$ має більшу густину, отже накопичується у компактній формі, що дає можливість значно збільшити брудомісткість фільтра і тривалість фільтроциклу у порівнянні з фізико-хімічним методом знезалізування води. Крім того, велика швидкість окислення заліза дозволяє збільшити швидкість фільтрування води, отже значно зменшити площу фільтрів і їх будівельну вартість, а мала тривалість промивки фільтрів дає змогу скоротити витрати промивної води та зекономити експлуатаційні кошти. У промивній воді знаходиться густіший і щільніший мул з гідроксиду заліза $Fe(OH)_3$, який швидко випадає в осад у відстійниках, що значно спрощує експлуатацію водоочисної станції [14, 15].

При доочищенні стічних вод аналогічну роботу здійснюють бактерії родів *Pseudomonas*, *Zoogloea*, *Sphaerotilus* та багато інших, які здатні інтенсивно поглинати з води органічні речовини. Особливо широким біорізноманіттям характеризується активний мул в системах аеробного очищення води, де виявлена присутність бактерій родів *Paracoccus*, *Microtrix*, *Hyphomicrobium*, *Caulobacter*, *Nitrobacter*, *Bacillus*, *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Cytophaga*, *Nocar-*

dia, Flavobacterium, Flexibacter, Halisomenobacter, Artrobacter, Corynebacterium, Rhodococcus, Clostridium, Lactobacillus, Staphylococcus [4-6].

Результати досліджень застосування мікробіологічних методів очищення природних і доочищення стічних вод відображено в роботі [14], де встановлено, що для забезпечення ефективного біологічного очищення води система повинна бути прямою, а всі гідробіоти повинні бути іммобілізовані на нерозчинних у воді насадках (носіях), у якості яких доцільно використовувати волокнисті матеріали – нитки, джгути, насадки типу "ВІЯ".

Волокнисті матеріали із поліетилену, капрону, лавсану допускаються для очищення води в системах питного водопостачання. Вони дуже міцні, стійкі до гідромеханічних навантажень, а при обростанні біомасою створюють доступні для інтенсивного масообміну зони в біореакторах, на початку роботи в яких відбувається накопичення і закріплення мікроорганізмів, окислення та видалення з води забруднень (заліза, органічних речовин тощо). Цей період характеризується дією сил адгезії й адсорбції мінеральних та органічних сполук і накопиченням біомаси. На другому етапі настає фаза відмирання культури і відрив біомаси та мінеральних часток з поверхні волокон під дією гідродинамічних сил фільтраційного потоку та винос їх з біореактора для затримання на фільтрах.

Іншим природним механізмом, який доцільно застосовувати для інтенсифікації процесів очищення природних і доочищення стічних вод, є використання сил гравітації при висхідному фільтруванні води через плаваюче фільтрувальне завантаження, у підфільтровому просторі якого відбуваються процеси флокуляції мікропластівців з їх укрупненням до розмірів, за яких вони випадають в осад. Пластівці менших розмірів затримуються у плаваючому фільтрувальному завантаженні, для виготовлення якого застосовують гранульні матеріали при-

родного або штучного походження (пінополіуретан, пінополістирол, подрібнений пінопласт тощо).

Для плаваючого завантаження фільтрів питного водопостачання великого поширення набув пінополістирол марки ПСВ, який характеризується високою стійкістю до поглинання води, невеликою густиною, незначною стираністю та подрібнюваністю, а також високою хімічною стійкістю [16, 17]. При доочищенні стічних вод для завантаження фільтрів з легких плаваючих матеріалів може застосовуватись й подрібнений пінопласт.

Реалізувати наведені способи інтенсифікації процесів знезалізнення підземних або доочищення стічних вод біологічним методом можна, застосовуючи установку, технологічну схему якої показано на рис. 1. Вихідна вода для очистки від забруднень подається трубопроводом 1 на біореактор (БР) 2 через аератор 5, у якому розбризкується на дрібні крапельки, що падають вниз з висоти не менше 0,5 м, насичуючись при цьому киснем повітря, яке надходить у БР через вікна 7. У БР знаходиться тонковолокнисте фільтрувальне завантаження 3, нитки якого натягнуті між колосниковими решітками 4 з рівномірним розміщенням одна відносно одної. БР виконує функції:

- біохімічного окислення домішок, що перебувають у вихідній воді, за допомогою мікроорганізмів, прикріплених до поверхні ниток волокнистого завантаження;
- видалення з води газів для запобігання пухирцевій кольматації у підфільтровому просторі контактного прояснювального фільтра (КПФ) 9;
- забезпечення постійної швидкості фільтрування води протягом фільтроциклу ($V_{\phi} = const$).

Спрощена аерація води, тобто розбрикування через аератор 5, здійснюється шляхом її виходу через дірчасті труби зі швидкістю 1,5-2 м/с. При падінні крапель води з висоти 0,5 м концентрація у

воді розчиненого кисню досягає 5 мг/дм^3 [17]. Оскільки для окислення 1 мг двохвалентного заліза необхідно $0,143 \text{ мг}$ кисню, то цього вмісту кисню у вихідній воді при спрощеній аерації буде достатньо для окислення $5 : 0,143 = 35 \text{ мг/дм}^3$ Fe^{2+} до форми Fe^{3+} чи для окислення тих домішок, що знаходяться у стічній воді при її доочищенні. Із БР по трубопроводу 8 попередньо оброблена вода надходить в КПФ 9, у якому здійснюються такі процеси:

- контактна коагуляція мікропластівців з їх укрупненням у агрегати, що здатні в умовах стисненого осідання випада-

ти в осад у підфільтровому просторі КПФ;

- поступове накопичення забруднень до величини G_{max} , кг/м^2 , що дорівнює максимальній питомій кількості осаду з активного мулу (питома брудомісткість КПФ), при якій фільтр необхідно виключати на промивку.

При висхідному русі води через цей осад, що перебуває у підфільтровому просторі, а також плаваюче фільтрувальне завантаження 10, яке переважно відіграє роль зворотного фільтра, вода очищається від завислих речовин, збирається ковпачковим дренажем 13 і відводиться із КПФ по трубопроводу 14.

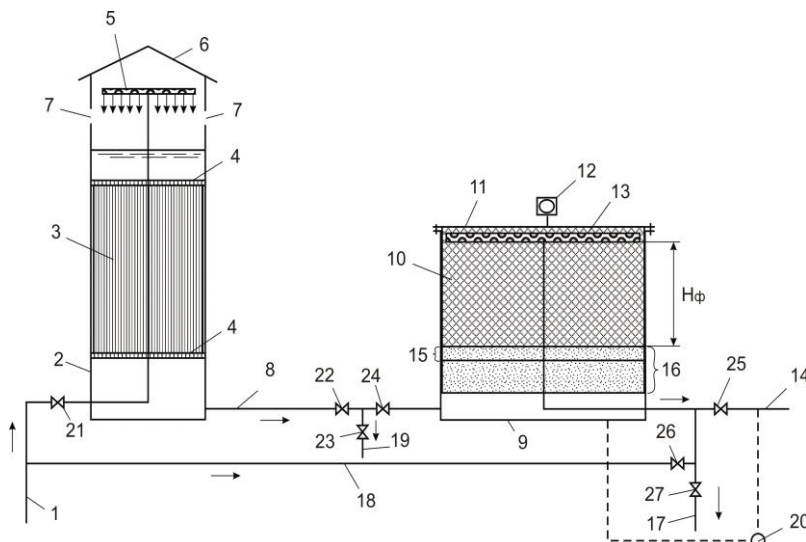


Рис. 1. Установа для знезалізнення підземних і доочищення стічних вод біологічним методом: 1 – подача вихідної води; 2 – біореактор; 3 – тонковолокнисте фільтрувальне завантаження; 4 – колосникова решітка; 5 – аератор; 6 – дах; 7 – повітропропускні вікна; 8 – подача попередньо обробленої води; 9 – контактний прояснювальний фільтр; 10 – плаваюче пінополістирольне фільтрувальне завантаження; 11 – кришка; 12 – вантуз; 13 – ковпачковий дренаж; 14 – відведення очищеної води; 15 – мінімальний об'єм осаду у фільтрі; 16 – максимальний об'єм осаду у фільтрі; 17 – скидання першого фільтрату; 18 – подача води на промивку фільтра; 19 – скидання промивної води і спорожнення водоочисних споруд; 20 – дифманометр із системою автоматики для управління засувками; 21-27 – засувки

Fig. 1. Installation for deironing of underground and additional treatment of sewage by a biological method: 1 – supply of source water; 2 – bioreactor; 3 – fine-fiber filter loading; 4 – grate; 5 – aerator; 6 – roof; 7 – air-permeable windows; 8 – supply of pre-treated water; 9 – contact clarifying filter; 10 – floating expanded polystyrene filter loading; 11 – cover; 12 – air valve; 13 – cap drainage; 14 – drainage of purified water; 15 – the minimum volume of sediment in the filter; 16 – the maximum volume of sediment in the filter; 17 – discharge of the first filtrate; 18 – water supply for filter washing; 19 – discharge of wash water and emptying of water treatment facilities; 20 – differential pressure gauge with automation system for latch control; 21-27 – latches

Якість фільтрованої води протягом фільтроциклу змінюється і залежить від таких факторів:

$$C_{\phi} = f(C_0; V_{\phi}; K.Ф; G_i), \text{ мг/дм}^3, \quad (1)$$

де C_0 – вміст забруднень у вихідній воді, мг/дм³; V_{ϕ} – швидкість висхідного фільтрування води, м/год; К.Ф – конструкція фільтра, що залежить від діаметрів гранул плаваючого фільтрувального завантаження d_e , мм, коефіцієнта їх неоднорідності K_n і товщини засипки H_{ϕ} , м; G_i – питома брудомісткість фільтра у даний момент часу, кг/м², тобто питома кількість активного мулу з частинок гідроксиду заліза Fe(OH)₃ (при знезалізованні води) або осаду, що утворився при попередньому окисленні стічних вод (при їх доочищенні), яка в будь-який (к-ий) проміжок часу роботи фільтра в інтервалі між 0 і $T_{\phi, \max}$ визначається за формулою

$$G_k = 0,001 K_n \sum_0^{T_{\phi, k}} (C_0 - C_{\phi, i}) T_{\phi, i}, \text{ кг/м}^2, \quad (2)$$

де K_n – коефіцієнт, який при знезалізованні води приймають рівним 1,91, а при доочищенні стічних вод – 1; $C_{\phi, i}$ – вміст забруднень у фільтрованій воді, мг/дм³; $T_{\phi, k}$ – тривалість фільтрування води від початку фільтроциклу і до даного (к-ого) моменту часу, год.

Лабораторні дослідження водоочисних установок з використанням БР і КОФ [17-20], показали, що вміст забруднень у фільтрованій воді $C_{\phi, i}$ спочатку зменшується, досягає нормативних значень (C_n), певного мінімуму ($C_{\phi, \min}$), а потім починає збільшуватись. При повторному досягненні величини $C_{\phi} = C_n$ фільтр необхідно виключати на промивку. Якщо якість вихідної води C_0 та швидкість її висхідного фільтрування V_{ϕ} стабільні, то для фільтра з конструктивними параметрами К.Ф = const величина $C_{\phi, i}$ залежить тільки від питомої брудомісткості КПФ у даний момент часу G_i (рис. 2).

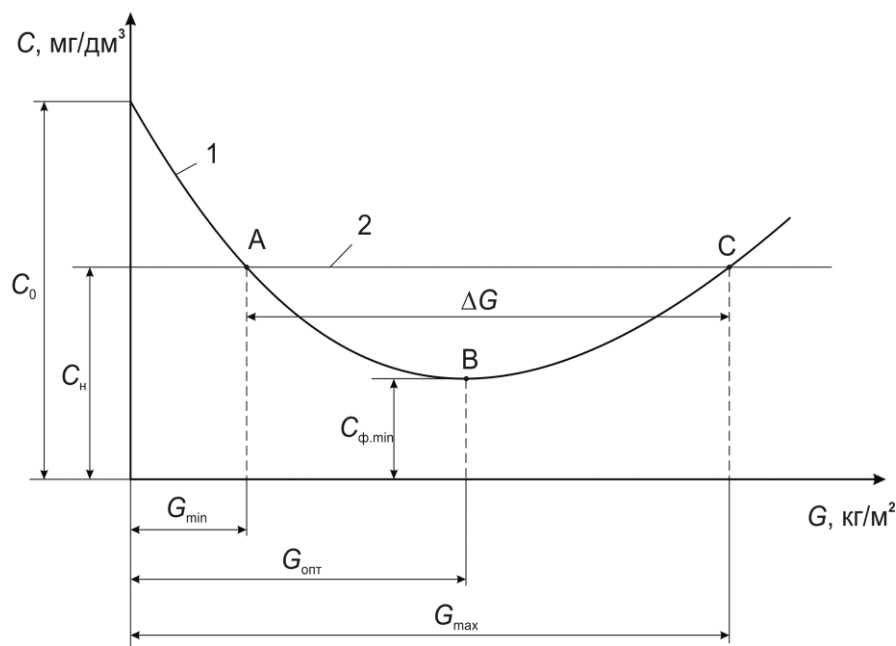


Рис. 2. Графік зміни вмісту забруднень у фільтрованій воді протягом фільтроциклу від питомої брудомісткості фільтра: 1 – вміст забруднень у фільтрованій воді; 2 – нормативний (гранично допустимий) вміст забруднень в очищеній воді

Fig. 2. Graph of changes in the content of contaminants in the filtered water during the filter cycle from the specific dirt capacity of the filter: 1 – the content of contaminants in the filtered water; 2 – normative (maximum allowable) content of contaminants in purified water

Абсиси точок перетину ліній 1 і 2 на рис. 2 (відповідно, точок А і С) визначають величини мінімальної G_{\min} та максимальної G_{\max} питомих брудомісткостей КПФ, в межах яких забезпечується нормативний вміст забруднень C_n в очищеній воді.

При питомій брудомісткості $G_{\text{опт}}$ (абсциса точки В на рис. 2) спостерігається найменший вміст забруднень у фільтрованій воді $C_{\phi, \min}$ для даної конструкції фільтра, прийнятої швидкості висхідного

фільтрування води в ньому V_{ϕ} та вмісту забруднень у вихідній воді C_0 .

При збільшенні питомої брудомісткості фільтра G протягом фільтроциклу збільшується гідравлічний опір висхідного руху води, а отже зростають втрати напору на фільтрі (рис. 3).

Таким чином, у роботі КПФ спостерігаються два періоди (рис. 4):

- "зарядка" фільтра тривалістю $T_{\text{зар}}$;
- період корисної роботи тривалістю $T_{\text{к.р}}$

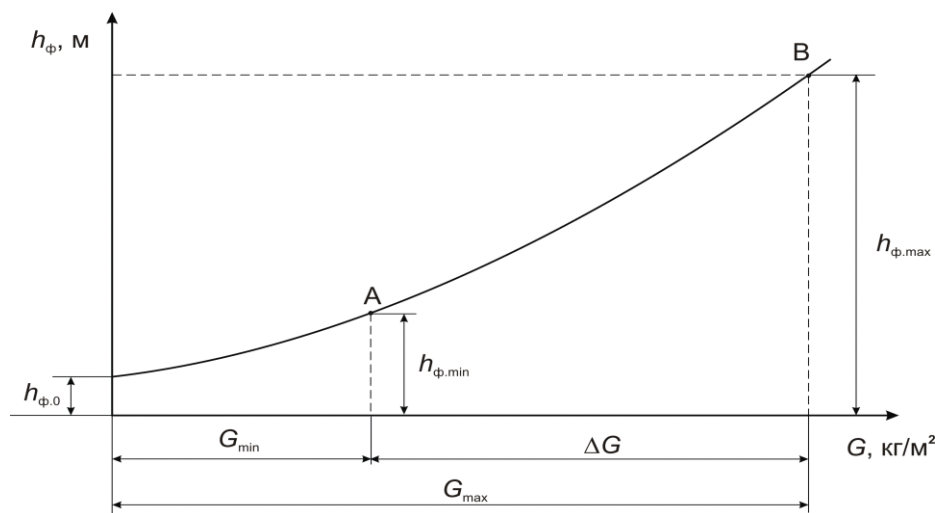


Рис. 3. Графік зміни втрат напору на фільтрі h_{ϕ} від його питомої брудомісткості G
Fig. 3. Graph change of pressure losses on the filter h_{ϕ} from its specific dirt capacity G

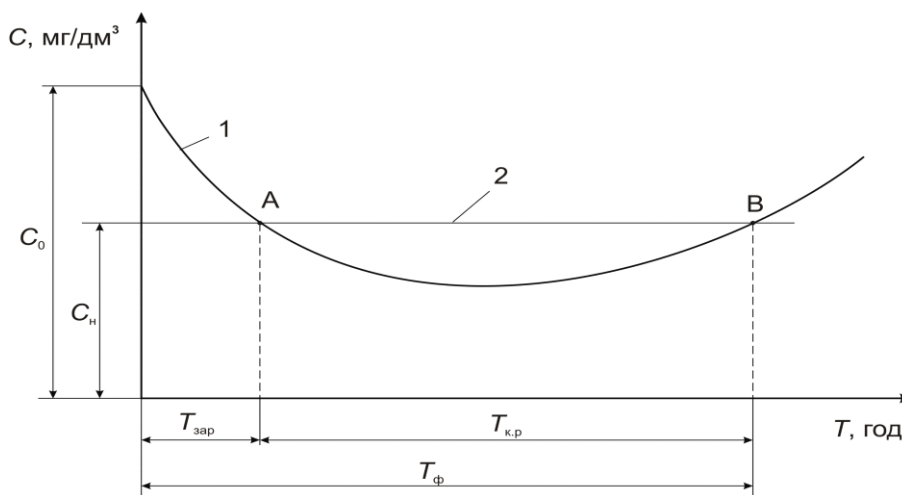


Рис. 4. Графіки зміни вмісту забруднень у фільтрованій воді протягом фільтроциклу: 1 – $C_{\phi} = f(T_{\phi})$; 2 – нормативний (гранично допустимий) вміст забруднень в очищеній воді C_n

Fig. 4. Graphs of changes in the content of contaminants in filtered water during the filter cycle: 1 – $C_{\phi} = f(T_{\phi})$; 2 – normative (maximum allowable) content of contaminants in purified water C_n

Абсциси точок перетину ліній 1 і 2 на рис. 4 (відповідно, точки А і В) визначають величини тривалості "зарядки" фільтра $T_{зар}$ та його фільтроциклу $T_{ф}$. Протягом часу $T_{зар}$ відбувається накопичення активного мулу у підфільтровому просторі КПФ, що дорівнює його мінімальній питомій брудомісткості G_{min} , при якій забезпечується нормативний вміст забруднень у фільтрованій воді C_n , а втрата напору при цьому дорівнює $h_{ф.min}$ (рис. 3). У кінці фільтроциклу тривалістю $T_{ф}$ (точка В на рис. 4) $C_{ф} = C_n$, а втрати напору дорівнюють $h_{ф.max}$ і фільтр необхідно виключати на промивку.

Корисна робота фільтра буде тривалістю

$$T_{к.р} = T_{ф} - T_{зар} \quad (3)$$

в межах між його питомими брудомісткостями G_{min} та G_{max} і, відповідно, втратами напору між $h_{ф.min}$ та $h_{ф.max}$.

Керування роботою водоочисної установки (рис. 1) здійснюється в автоматичному режимі за допомогою дифманометра 20 із системою автоматики для управління засувками 21-27. При фільтруванні води відкриті засувки 21, 22, 24 і 25, а всі інші закриті. При промивці фільтра потрібно відкрити засувки 23 і 26, а всі інші закриті. Після завершення промивки, відкриваючи засувку 27, про-

тягом 10 хвилин забезпечують скидання першого фільтрату по трубі 17, а далі, відкриваючи засувку 25, очищену для питних потреб воду відводять по трубопроводу 14 споживачам.

Для економного витрачання водних і енергетичних ресурсів при забезпеченні нормативного вмісту забруднень у фільтрованій воді ($C_{ф} \leq C_n$) необхідно щоб КПФ працював тільки в період між його питомими брудомісткостями G_{min} та G_{max} тривалістю $T_{к.р}$ (рис. 4), тобто потрібно виключити період "зарядки" фільтра ($T_{зар} = 0$). Для цього необхідно при промивці КПФ видаляти з нього тільки накопичений за період корисної роботи активний мул питомою брудомісткістю

$$\Delta G = G_{max} - G_{min}, \text{ кг/м}^2 \quad (4)$$

При вирішенні цієї задачі під час пусканалагоджувальних операцій на розглянутій водоочисній установці (рис. 1) необхідно для конкретної конструкції фільтра (К.Ф), вмісту забруднень у вихідній воді C_0 , мг/дм³, та прийнятій швидкості її висхідного фільтрування $V_{ф}$, м/год, визначити величини питомих брудомісткостей G_{min} та G_{max} і встановити потрібну тривалість промивки фільтра $t_{пр}$, хв, з вибраною інтенсивністю промивки $q_{пр}$, дм³/с·м² (рис. 5).

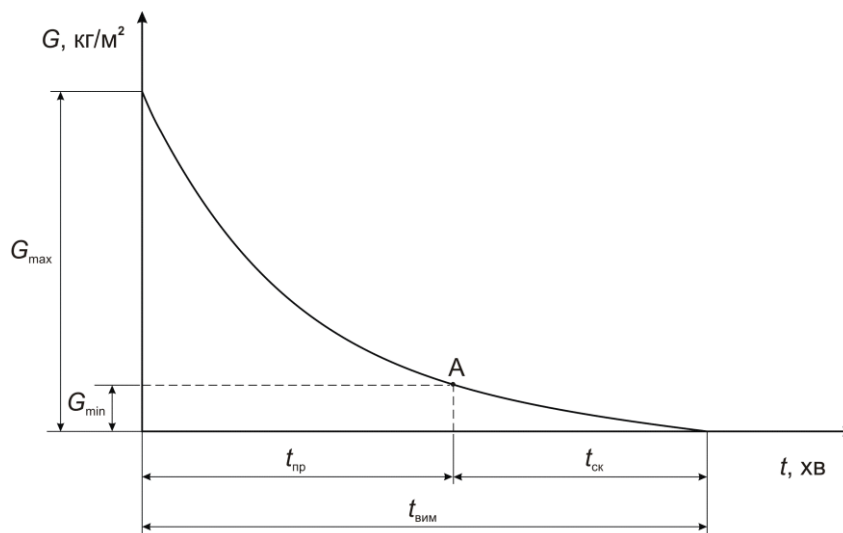


Рис. 5. Графік виносу забруднень з фільтра під час його промивки із заданою інтенсивністю $q_{пр}$
Fig. 5. The schedule removal of contaminants from the filter during its washing with the set intensity $q_{пр}$

$q_{пр}$

При промивці фільтра з інтенсивністю $q_{\text{пр}}$, $\text{дм}^3/\text{с}\cdot\text{м}^2$, всі накопичення забруднень вимиваються за час $t_{\text{вим}}$, який складається з періоду виносу з нього активного мулу брудомісткістю ΔG тривалістю $t_{\text{пр}}$ і періоду скидання цього мулу обсягом G_{min} тривалістю $t_{\text{ск}}$:

$$t_{\text{вим}} = t_{\text{пр}} + t_{\text{ск}}, \text{ хв.} \quad (5)$$

Отже, промивку КПФ потрібно контролювати, щоб не допустити вимивання з нього активного мулу питомою брудомісткістю G_{min} , за допомогою реле часу, тобто при досягненні часу $t_{\text{пр}}$ промивка фільтра закінчується і відразу ж починається період його корисної роботи.

Виконання цих рекомендацій забезпечує економне витрачання води і електроенергії при знезалізненні підземних вод або доочищенні стічних вод. Ця економія дорівнює:

- при фільтруванні води в інтервалі питомих брудомісткостей між G_{min} та G_{max}

$$\Delta E_1 = \frac{T_{\text{зар}}}{T_{\text{к.р}}} \cdot 100\% ; \quad (6)$$

- при видаленні забруднень з КПФ під час промивки від G_{max} до G_{min}

$$\Delta E_2 = \frac{t_{\text{ск}}}{t_{\text{пр}}} \cdot 100\% . \quad (7)$$

Покажемо результати розрахунків на прикладі, коли необхідно проаналізувати роботу водоочисної установки (рис. 1) при доочищенні стічних вод з наступними показниками. Параметри КПФ: еквівалентний діаметр гранул завантаження $d_e = 3,22$ мм; коефіцієнт їх неоднорідності $K_n = 2,52$; висота фільтрувального завантаження $H_\phi = 1,0$ м. Вміст завислих речовин у стічній воді $C_0 = 50$ $\text{мг}/\text{дм}^3$. При висхідному фільтруванні зі швидкістю $V_\phi = 5$ м/год виконання вимоги $C_\phi \leq C_n = 15$ $\text{мг}/\text{дм}^3$ було досягнуто при таких показниках: $T_{\text{зар}} = 21$ год; $T_\phi = 94$ год; $T_{\text{к.р}} = 73$ год; $G_{\text{min}} = 2,1$ $\text{кг}/\text{м}^2$; $G_{\text{max}} = 11$ $\text{кг}/\text{м}^2$; $q_{\text{пр}} = 14$ $\text{дм}^3/\text{с}\cdot\text{м}^2$; $t_{\text{вим}} = 4,5$ хв; $t_{\text{пр}} = 2,5$ хв; $t_{\text{ск}} = 2$ хв. Показники економії води і електроенергії за формулами (6) і (7), відповідно, будуть дорівнювати:

$$\Delta E_1 = \frac{21}{74} \cdot 100 = 28,8\% ;$$

$$\Delta E_2 = \frac{2}{2,5} \cdot 100 = 80\% .$$

Як бачимо, при автоматизації роботи водоочисної установки для забезпечення граничних величин питомої кількості активного мулу в межах між G_{min} та G_{max} при фільтруванні води і при промивці фільтра будуть значно зменшуватись витрати води і електроенергії.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Знезалізнення підземних вод і доочищення стічних вод доцільно виконувати біологічним методом із застосуванням установок з БР і КПФ, в яких використовуються природні механізми видалення з води шкідливих домішок (мікроорганізми та сили гравітації). Ефективна робота таких установок буде спостерігатися в межах між мінімальною G_{min} та максимальною G_{max} питомими брудомісткостями. Для досягнення цієї вимоги запропоновано систему автоматики, яка включає установку на промивку при максимальних втратах напорі у фільтрі $h_{\phi, \text{max}}$, що відповідають величині G_{max} . Промивка відбувається з розрахунковою інтенсивністю $q_{\text{пр}}$ протягом часу $t_{\text{пр}}$, що контролюється за допомогою реле, під час якої забезпечується зменшення питомої брудомісткості КПФ від G_{max} до G_{min} . Виконання цих рекомендацій дає суттєву економію води і електроенергії при експлуатації установок.

ЛІТЕРАТУРА

1. **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.
2. **Hendricks D.** Fundamentals of Water Treatment Unit Processes Physical, Chemical, and Biological. CRC Press Taylor & Francis Group, 2016.
3. **A. Ahmadi, L.Tiruta-Barna.** 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*. 100, 2015, 116-125.
4. **Ковальчук В. А.** Очистка стічних вод. Рівне: Рівненська друкарня, 2002. 622 с.
 5. **Саблій Л. А.** Фізико-хімічне та біологічне очищення висококонцентрованих стічних вод. Рівне: НУВГП, 2013. 291 с.
 6. **Нетрусов А. И., Котова И. Б.** Микробиология: теория и практика в 2 ч. М: Юрайт, 2018. 333 с.
 7. **A. Uldeen A. Arif, M. T. Sorour, S. A. Aly.** 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.
 8. **M. P. Shah, S. P. Vera, G. Y. Töre.** Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment. Boca Raton, 2022, 298.
 9. **Саблій Л. А., Ободович О. М., Сидоренко В. В., Коренчук М. С.** Дослідження можливості використання аераційно-окиснювальної установки роторного типу для біологічного очищення стічних вод. Вісник НУВГП, 1(77), 2017. С. 94-102.
 10. **R. L. Antonie.** Fixed Biological Surfaces - Wastewater Treatment The Rotating Biological Contactor. 2018. Taylor & Francis Group.
 11. **E. Gürtekin.** Experimental and numerical design of renewable-energy-supported advanced biological wastewater treatment plant. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2019, 16(2), 1183–1192.
 12. **A. M. Sargsyan, N. A. Ilyin, M. S. Dron-din.** Commissioning of Water Treatment Facilities in Rural Areas. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, 988(4).
 13. **C. Sweetapple, G. Fu, D. Butler.** Reliable, Robust, and Resilient System Design Framework with Application to Wastewater-Treatment Plant Control. *Journal of Environmental Engineering*, 143(3), 2017.
 14. **Гвоздяк П. И., Глоба Л. И.** Научное обоснование, разработка и внедрение в практику новых биотехнологий очистки воды. *Химия и технология воды*, 1998, 20(3). С. 325-329.
 15. **Хоружий П. Д., Хомуецкая Т. П., Хоружий В. П.** Исследование процессов и разработка технологии обезжелезивания воды с помощью железобактерий. *Химия и технология воды*, 2003, т. 25, № 5. С. 465-475.
 16. **Журба М. Г.** Водоочистные фильтры с плавающей загрузкой. Научное издание. М., 2011. 536 с.
 17. **Хоружий П. Д., Хомуецка Т. П., Хоружий В. П.** Ресурсозберігаючі технології водопостачання. К: Аграрна наука, 2008. 534 с.
 18. **Хоружий П. Д., Хомуецка Т. П., Хоружий В. П., Недашковський І. П.** Установка для очистки воды. Патент на корисну модель № 60064, опубліковано 10.06.2011, бюл.№11.
 19. **Стасюк С. Р., Хомуецка Т. П., Хоружий П. Д.** Установка для знезалізнення і зм'якшення води. Патент на корисну модель № 85009, опубліковано 11.11.2013, бюл.№21.
 20. **Хомуецка Т. П., Хоружий В. П., Дупляк О. В., Нор В. В.** Гідроавтоматична установка для очистки природных і доочищення стічних вод. Патент на корисну модель № 144274, опубліковано 25.09.2020, бюл.№18.

REFERENCES

1. **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>
2. **Hendricks, D. (2016).** *Fundamentals of Water Treatment Unit Processes*. CRC Press Taylor & Francis Group.
<https://doi.org/10.1201/9781439895092>
3. **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>
4. **Koval'chuk, V. A. (2002).** *Ochystka stichnykh vod*. Rivne: Rivnens'ka drukarnya. [in Ukrainian].
5. **Sabliy, L. A. (2013).** *Fizyko-khimichne ta biolohichne ochyshchennya vysokokontsentrovanykh stichnykh vod*. Rivne: NUVHP. [in Ukrainian].
6. **Netrusov, A. I., & Kotova, I. B. (2018).** *Mikrobiologiya: teoriya i praktika*. Moskva: Yurayt. [in Russian].
7. **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*, 09(06), 636-651. <https://doi.org/10.4236/jep.2018.96040>
8. **Shah, M. P., Bera, S. P., & Töre, G. Y. (2022).** *Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment*. <https://doi.org/10.1201/9781003165958>
9. **Sabliy, L. A., Obodovych, O. M. V., & Korenchuk, M. S. (2017).** Doslidzhennya mozhyvosti vykorystannya aeratsiynooxysnyuval'noyi ustanovky rotornoho typu dlya biolohichnoho ochyshchennya stichnykh vod. *Visnyk NUVHP*, 1(77). 94-102. [in Ukrainian].
10. **Antonie, R. L. (2018).** *Fixed Biological Surfaces – Wastewater Treatment*. Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/9781351072045>
11. **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>
12. **Sargsyan, A. M., Ilyin, N. A., & Dronidin, 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>
13. **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)
14. **Gvozdyak, P. I., Globa, L. I. (1998).** Nauchnoye obosnovaniye, razrabotka i vnedreniye v praktiku novykh biotekhnologiy ochistki vody. *Khimiya i tekhnologiya vody*, 20(3). 325-329. [in Russian].
15. **Khoruzhy, P. D., Khomutetska, T. P., & Khoruzhy, V. P. (2003).** Issledovaniye protsessov i razrabotka tekhnologii obez-zhelezivaniya vody s pomoshch'yu zhelezobakteriy. *Khimiya i tekhnologiya vody*, 25(5). 465-475. [in Russian].
16. **Zhurba, M. G. (2011).** *Vodoochistnyye fil'try s plavayushchey zagruzkoy*. Moskva. [in Russian].
17. **Khoruzhy, P. D., Khomutetska, T. P., & Khoruzhy, V. P. (2008).** *Resource-saving technologies of water supply: textbook*. way. Kyiv.: Agrarian Science. [in Ukrainian].
18. **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. [in Ukrainian].
19. **Stasyuk, S. R., Khomutetska, T. P., & Khoruzhy, P. D. (2013).** Ustanovka dlya znezaliznennya i zm'yakshennya vody. Patent na korysnu model' № 85009, byul.№21. [in Ukrainian].
20. **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. [in Ukrainian].

Optimization management of installations at groundwater deironing and sewage treatment

Tetiana Khomutetska, Victor Khoruzhy, Victor Nor

Abstract. In modern conditions, the increase in anthropogenic pressure on the environment discharge of significant amounts of untreated or insufficiently treated wastewater into natural water bodies leads to a deterioration of water quality in sources of drinking water. Therefore, not only conceptual efforts to prevent environmental pollution and provide consumers with quality drinking water are of great importance, but also the mechanisms for their implementation should be revealed. In this aspect, one of the main tasks is the introduction of the latest tools, materials and designs of water treatment facilities and quality control of water supplied to consumers or discharged into natural sources. Pollution entering water bodies changes their physicochemical and biological parameters and leads to complications in the operation of water supply facilities. The solution of these problems is facilitated by the use of advanced technologies for the treatment of both drinking and wastewater. No less important is the establishment of optimal modes of operation of water treatment plants, which ensures maximum efficiency of their operation, conservation of water and energy resources, obtaining guaranteed quality of purified water. The article substantiates the use of natural mechanisms in the processes of deironing of water from underground sources and wastewater treatment. The generalized analysis of the operation of the units with bioreactor and contact clarifier filter during the filter cycle revealed that the standard quality of filtered water is ensured only between the minimum G_{\min} and maximum G_{\max} specific dirt content of the filter. It is offered to carry out automation of management of work of such installations at control by the differential pressure gauge of the maximum losses of pressure on the filter corresponding to G_{\max} value, with its switching to the washing mode. When washing the filter, it is necessary to reduce the specific amount of activated sludge from G_{\max} to G_{\min} , controlling the duration of washing the specified intensity with a timer. The proposed measures provide significant savings in water and electricity costs during operation.

Key words: groundwater, wastewater, deironing, water treatment, bioreactor, contact clarifying filter.

Стаття надійшла до редакції 17.03.2022