

УДК 628.1: 626.82

## УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ФІЛЬТРІВ ГРУПИ ПАРАЛЕЛЬНО ПРАЦЮЮЧИХ ВОДООЧИСНИХ УСТАНОВОК

**О.В. ПЕТРОЧЕНКО**, канд. тех. наук  
Інститут водних проблем і меліорації НААН

*Запропоновано інноваційний спосіб відновлення працездатності фільтрів групи паралельно працюючих водоочисних установок в системах господарсько-питного водопостачання і краплинного зрошення. Наведено наукове обґрунтування режимів відновлення фільтрів за запропонованим способом. Доведена технічна та економічна ефективність застосування нового способу.*

**Ключові слова:** питне водопостачання, краплинне зрошення, водоочисна система, водоочисна установка, фільтр, брудомісткість фільтра

**Проблема та її актуальність.** В умовах зростаючого техногенного забруднення водних джерел виникає необхідність розробки та впровадження нових більш ефективних технологій і конструкцій споруд для очистки води, у тому числі локальних водоочисних установок систем господарсько-питного водопостачання [1] та краплинного зрошення [2]. У системах водопостачання сільських населених пунктів груповими водопроводами великої протяжності вода забруднюється в процесі її транспортування [3] і потребує додаткового очищення у споживача на локальних водоочисних установках до нормативу питної води [4]. У системах краплинного зрошення локальні водоочисні установки використовують за потребою забезпечення працездатності дрібних водотоків і мікророзподілу (крапельниць та емітерів). Допустимі для краплинного зрошення розміри завислих у воді частинок і гідробіонтів та їх концентрація регламентуються нормативним документом [5].

У металевих або пластмасових корпусах локальних водоочисних установок заводського виготовлення можуть встановлюватися різні фільтри: піщані, сітчасті, пінополістирольні, вугільні, іонообмінні, дискові, сорбційні та ін. У краплинному зрошенні частіше використовуються водоочисні установки з піщано-гравійними фільтрами, наприклад такі, що виготовляє компанія «РОСТА», м. Мелітополь [2]. У системах питного водопостачання останнім часом застосовують установки мембранної фільтрації або зворотного осмосу, в яких вихідну воду під тиском пропускають через пористі напівпроникні мембрани, що працюють як найтонші сита. Мембрани здатні затримувати дрібнодисперсні частинки (суспензії, колоїди, віруси, бактерії) і навіть більшу частину розчинених речовин.

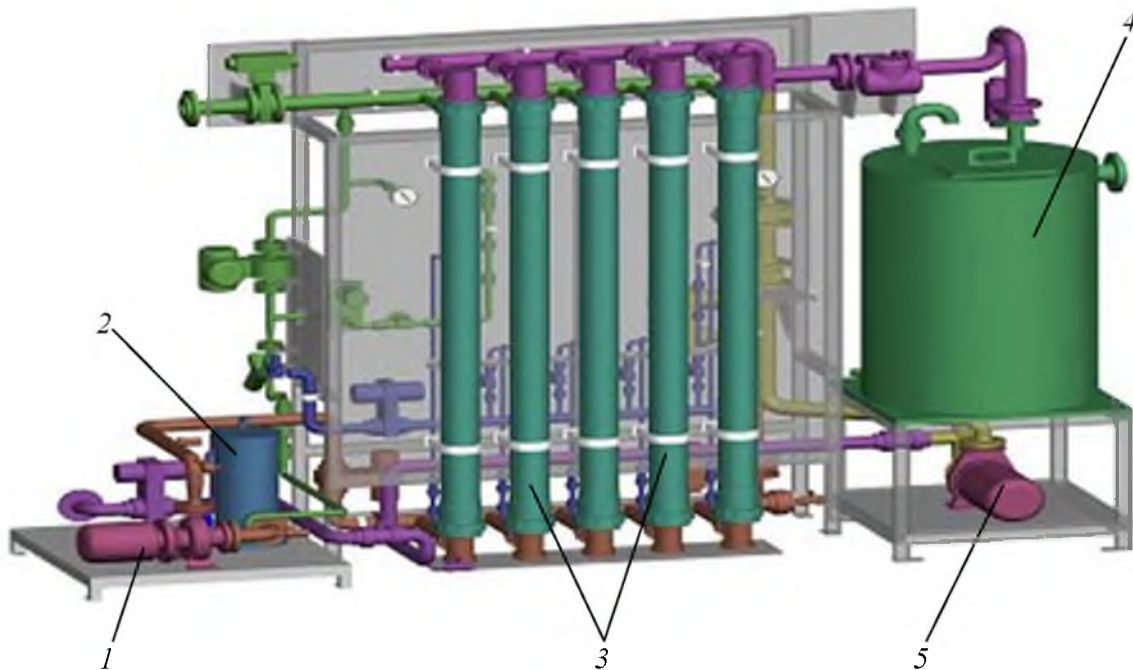
Проектування і виготовлення локальних водоочисних установок здійснюють за принципом модульності. Систему очистки води, залежно від її проектної продуктивності, виготовляють у вигляді групи (блоку) паралельно працюючих установок певного модуля, наприклад як на рис. 1.

Фільтри локальних водоочисних установок у процесі роботи забруднюються завислими у воді речовинами і потребують періодичного відновлення працездатності. Відновлення фільтрів здійснюють: шляхом їх зворотної промивки (найбільш поширений варіант); механічного очищення від бруду (струшуванням бруду з мембран); заміни відпрацьованих фільтрувальних елементів (картриджів) новими.

Для системи очистки води, що складається з групи паралельно працюючих водоочисних установок (рис. 1), зараз використовують недостатньо ефективний спосіб відновлення фільтрів, за яким на період відновлення передбачено тимчасове виведення з роботи усієї системи очистки води. Процес відновлення фільтра однієї водоочисної установки потребує виведення її з роботи на певний період часу, який залежно від конструкції установки становить 0,5-3,0 години. При цьому період часу виведення з роботи усієї водоочисної системи під час відновлення фільтрів групи установок збільшується відповідно кількості установок у групі, що негативно відбивається на техніко-економічних показниках водоочисної системи.

**Метою дослідження** є науково-інноваційне удосконалення процесу відновлення фільтрів групи паралельно працюючих водоочисних установок.

**Методика дослідження.** У дослідженнях застосовувався аналітичний метод формалізації і порівняння властивостей та параметрів технічних об'єктів.



**Рис. 1. Система очистки води з п'яти паралельно підключених порожньоволокнистих мембранних модулів Microza:**

1 – насос для підвищення тиску вихідної води; 2 – передфільтр; 3 – блок модулів Microza; 4 – резервуар для фільтрату; 5 – насос зворотної промивки фільтрів

**Результати дослідження.** Для досягнення мети запропоновано новий спосіб відновлення фільтрів групи паралельно працюючих водоочисних установок [6] та виконано наукові дослідження з обґрунтування його технічної і економічної ефективності. Відповідно до [6] новий спосіб відрізняється від традиційного (базового) тим, що відновлення фільтрів здійснюють не одночасно для усієї групи водоочисних установок, а окремо для кожної установки в кінці забруднення її фільтра, не припиняючи процес очистки води на інших установках. При цьому відновлення фільтра кожної наступної установки починають в кінці забруднення фільтра, але через певний проміжок часу після закінчення відновлення фільтра попередньої установки.

На рис. 2а наведено водоочисну систему у вигляді групи чотирьох паралельно працюючих установок, у яких відновлення фільтрів здійснюють шляхом зворотної промивки, а на рис. 2б – графіки витрат води водоочисної системи за базовим (традиційним) і новим способом відновлення фільтрів.

За базовим способом передбачено одночасне відновлення усіх фільтрів групи паралельно працюючих установок, припиняючи на деякий час роботу водоочисної системи,

що є основним недоліком способу. Для схеми на рис. 2а недолік базового способу стає очевидним під час сумісного аналізу графіка 17 (рис. 2б) витрати води (подачі фільтрату протягом фільтроциклу) однією установкою і графіка 18 витрати води групою установок.

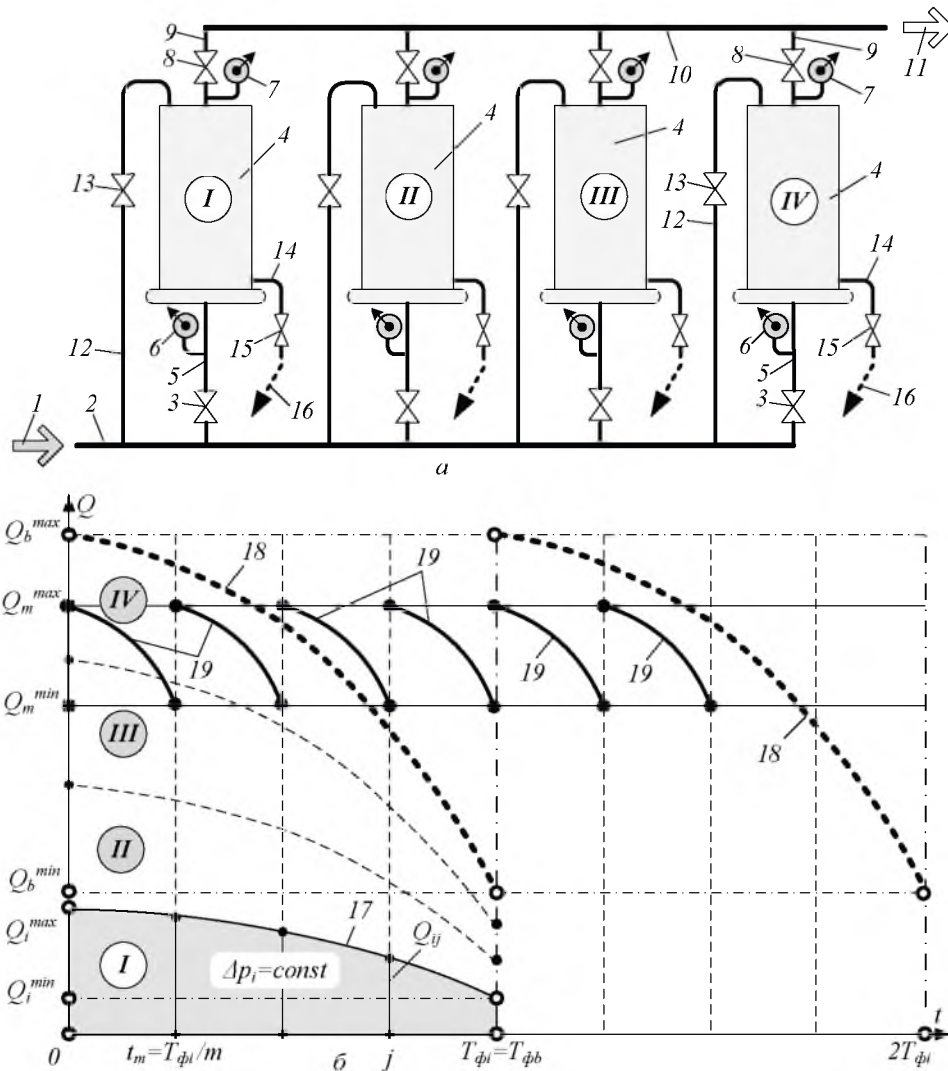
При забезпеченні постійного напору води  $\Delta p_i = \text{const}$  протягом фільтроциклу тривалістю  $T_{\phi i}$  витрата води на одній ( $i$ -й) установці внаслідок забруднення фільтрувальних елементів зменшується від  $Q_i^{\max}$  на початку фільтрування до  $Q_i^{\min}$  в кінці фільтроциклу. Розбіжність  $\Delta Q_i$  між максимальною  $Q_i^{\max}$  і мінімальною  $Q_i^{\min}$  витратами води однієї  $i$ -ї установки становить:

$$\Delta Q_i = Q_i^{\max} - Q_i^{\min}, \quad (1)$$

З огляду на ідентичність фільтраційних характеристик усіх установок, виготовлених за принципом модульності, тривалість  $T_{\phi b}$  фільтроциклу групи установок збігається з тривалістю фільтроциклу  $T_{\phi i}$  однієї установки ( $T_{\phi b} = T_{\phi i}$ ), а ординати графіка 18 визначають шляхом збільшення ординат графіка 17 відповідно кількості установок у групі:

$$Q_b^{\max} = b Q_i^{\max}; \quad (2)$$

$$Q_b^{\min} = b Q_i^{\min}; \quad (3)$$



**Рис. 2. Система з чотирьох паралельно працюючих водоочисних установок та її фільтраційні характеристики за базовим і новим способами відновлення фільтрів:**

*a* – схема водоочисної системи; *б* – графіки витрати води залежно від варіантів відновлення фільтрів; 1 – вихідна вода; 2 – труба подачі вихідної води; 3 – вентиль; 4 – водоочисна установка; 5 – труба подачі води у водоочисну установку; 6 і 7 – манометр; 8 – вентиль; 9 – труба відведення води з водоочисної установки; 10 – труба подачі очищеної води; 11 – очищена вода; 12 – трубопровід подачі промивної води; 13 – вентиль; 14 – патрубков; 15 – вентиль; 16 – відведення забрудненої промивної води; 17 – графік витрати води в *i*-й водоочисній установці протягом фільтраційного циклу  $T_{\phi i}$  при постійному напорі  $\Delta p_i$ ; 18 і 19 – графіки витрати води групи установок при базовому і новому способах відновлення фільтра

де  $Q_b^{max}$  і  $Q_b^{min}$  – максимальне і мінімальне значення загальної витрати води (виходу фільтрату) для групи установок за базовим способом відновлення фільтрів,  $m^3/c$ ;  $b$  – кількість установок з використанням базового способу.

З графіка 18 та рівнянь (2) і (3) неважко встановити, що розбіжність  $\Delta Q_b$  між макси-

мальною  $Q_b^{max}$  і мінімальною  $Q_b^{min}$  витратами води групи установок за базовим способом відновлення фільтрів становить:

$$\Delta Q_b = Q_b^{max} - Q_b^{min} = b(Q_i^{max} - Q_i^{min}) = b \Delta Q_i \quad (4)$$

Тобто за базовим способом зі збільшенням кількості  $b$  водоочисних установок розбіж-



ність  $\Delta Q_b$  збільшується пропорційно збільшенню  $b$  і може досягати досить великих значень. Під час проектування в основу розрахунків необхідної кількості  $b$  установок за базовим способом відновлення фільтрів приймаються витрати води  $Q_{np}$ ,  $Q_i^{min}$  і  $Q_b^{min}$ , які знаходяться у співвідношенні:

$$b = \left\lceil \frac{Q_{np}}{Q_i^{min}} \right\rceil \leq \frac{Q_b^{min}}{Q_i^{min}}, \quad (5)$$

де  $Q_{np}$  – витрата води, на яку розраховують проект водоочисної системи, м<sup>3</sup>/с;  $\lceil \dots \rceil$  – математичний символ округлення числа до цілого в більшу сторону.

Нескладно встановити, що для забезпечення необхідної розрахункової витрати води  $Q_{np}$  потрібна значна кількість  $b$  установок, оскільки розрахунок  $b$  за формулою (5) здійснюють за величиною  $Q_i^{min}$ . Візуальний аналіз графіків 17 і 18 показує, що при  $b = 3 \dots 5$  мінімальна витрата води  $Q_b^{min}$  блоку установок, яку необхідно закладати в основу проектування системи, незначно відрізняється від максимальної витрати води  $Q_i^{max}$  однієї установки.

За новим способом процес відновлення фільтра кожної наступної установки починають після закінчення процесу відновлення фільтра попередньої установки через інтервал часу:

$$t_m = T_{\phi i} / m, \quad (6)$$

де  $m$  – кількість установок за новим способом відновлення фільтрів.

На рис. 2б наведено графік 19 загальної витрати води групи установок за новим способом відновлення фільтрів. Характерними є верхні і нижні вузлові точки графіка 19, ординати  $Q_m^{max}$  і  $Q_m^{min}$  яких визначають за формулами:

$$Q_m^{max} = \sum_{j=1}^{m+1} Q_{ij} - Q_i^{min}; \quad (7)$$

$$Q_m^{min} = \sum_{j=1}^{m+1} Q_{ij} - Q_i^{max}, \quad (8)$$

де  $Q_{ij}$  – ордината графіка 17 для  $i$ -ї установки в кінці  $j$ -го інтервалу ділення періоду часу  $T_{\phi i}$ , м<sup>3</sup>/с.

Відповідно до формул (7) і (8) розбіжність  $\Delta Q_m$  між максимальною  $Q_m^{max}$  і мінімальною  $Q_m^{min}$  витратою води групи установок за новим способом відновлення фільтрів становить:

$$\Delta Q_m = Q_m^{max} - Q_m^{min} = Q_i^{max} - Q_i^{min} = \Delta Q_i. \quad (9)$$

Відповідно до формул (4) і (9) відношення розбіжності  $\Delta Q_b$  за базовим способом до розбіжності  $\Delta Q_m$  за новим способом становить:

$$\frac{\Delta Q_b}{\Delta Q_m} = \frac{b \Delta Q_i}{\Delta Q_i} = b. \quad (10)$$

Шляхом порівняння графіка 19, побудованого за умови  $m=b$  (на рис. 2  $m=b=4$ ), з графіком 18 візуально простежується перевага нового способу відновлення фільтрів перед базовим, яка полягає в суттєвому зменшенні розбіжності  $\Delta Q_m$  між  $Q_m^{max}$  і  $Q_m^{min}$  порівняно з розбіжністю  $\Delta Q_b$  між  $Q_b^{max}$  і  $Q_b$ .

Таким чином, основною перевагою нового способу відновлення фільтрів, порівняно з базовим, за техніко-експлуатаційними показниками є забезпечення більш рівномірної фільтраційної характеристики водоочисної системи, а також можливість відновлювати фільтри паралельно працюючих установок при забезпеченні невідмінної роботи усієї системи очистки води.

Для обґрунтування економічної ефективності нового способу відновлення фільтрів постає потреба визначення необхідної кількості  $m$  установок за новим способом та порівняння її з кількістю  $b$  за новим способом за умови забезпечення однакової, як із застосуванням базового, так і нового способу відновлення фільтрів, проектної витрати води  $Q_{np}$  водоочисної системи.

Необхідну кількість  $b$  водоочисних установок для забезпечення проектної витрати води  $Q_{np}$  системи із застосуванням базового способу відновлення фільтрів визначають із співвідношення (5).

Із застосуванням нового способу відновлення фільтрів необхідну кількість  $m$  водоочисних установок визначають за умови:

$$Q_m^{min} \geq Q_{np}. \quad (11)$$

Після підстановки в умову (11) значення  $Q_m^{min}$  з (8) маємо:

$$\left( \sum_{j=1}^{m+1} Q_{ij} - Q_i^{max} \right) \geq Q_{np}. \quad (12)$$

Для визначення необхідної кількості  $m$  водоочисних установок умову (12) запишемо у вигляді співвідношення:

$$\left[ \frac{\sum_{j=1}^{m+1} Q_{ij} - Q_i^{max}}{Q_{np}} \right] = 1. \quad (13)$$

За співвідношенням (13) параметр  $m$  може бути визначений методом послідовного перебору. Для цього використовують графік 17. Фільтроцикл тривалістю  $T_{\phi i}$  розбивають на  $m$  рівних частин. У кожній  $j$ -й точці ( $j=1, (m+1)$ ) ділення  $T_{\phi i}$  з графіка 17 визначають ординату  $Q_{ij}$ . Далі послідовним перебором кількості

установок  $m$  визначають  $m$ , що відповідає співвідношенню (13).

З огляду на складність визначення методом послідовного перебору кількості установок  $m$ , для спрощених розрахунків пропонується формула:

$$m = \left\lceil \frac{2Q_{\text{пр}}}{Q_i^{\text{min}} + Q_i^{\text{max}}} \right\rceil. \quad (14)$$

Формула (14) складена на основі припущення щодо лінійного характеру графіка 17. Оскільки графік 17 є опуклим, то кількість установок  $m$ , розрахована за формулою (14), буде не меншою кількості установок, визначеної за методом послідовного перебору параметра  $m$  за співвідношенням (13), що забезпечить підвищення надійності роботи водоочисної системи.

Економічний ефект від застосування нового способу відновлення фільтрів водоочисної системи з групи паралельно працюючих установок складає:

$$E = K_I (b - m), \quad (15)$$

де  $K_I$  – капітальні витрати на придбання та монтаж однієї водоочисної установки, тис. грн.;  $b$  – кількість установок за базовим способом, яку визначають за співвідношенням (5);  $m$  – кількість установок за новим способом, яку визначають із співвідношення (13) або за формулою (14).

**Висновки.** Унаслідок низької якості води в системах сільського господарсько-питного водопостачання та краплинного зрошення

виникає потреба доочищення вихідної води в місцях її споживання на паралельно працюючих локальних водоочисних установках, фільтри яких у процесі роботи забруднюються і потребують періодичного відновлення працездатності.

За традиційним способом відновлення фільтрів паралельно працюючих водоочисних установок здійснюють одночасно, припиняючи на певний період часу роботу усієї групи, що є основним недоліком традиційного способу.

Запропонований спосіб відновлення фільтрів групи паралельно працюючих водоочисних установок відрізняється тим, що відновлення фільтрів здійснюють не одночасно для усієї групи установок, а окремо для кожної установки в кінці забруднення її фільтра, не припиняючи процес очистки води на інших установках групи.

Перевагою нового способу відновлення фільтрів водоочисних установок, порівняно з традиційним, за техніко-експлуатаційними показниками є забезпечення більш рівномірної фільтраційної характеристики групи водоочисних установок та можливість відновлення фільтрів окремих установок при забезпеченні безперервної роботи усієї групи.

Економічна ефективність нового способу відновлення фільтрів полягає в можливості зменшення кількості паралельно працюючих установок групи та зменшенні капітальних витрат на придбання та монтаж групи установок.

### Бібліографія

1. Журба М.Г. Подготовка воды для хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения / М.Г. Журба // Водоснабжение и санитарная техника. – 2004. – №2. – С. 10-13.
2. Пастухов В.І. Подготовка воды для краплинного орошения // В.І. Пастухов, В.В. Тарасенко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2013. Вип. 13, т. 3. – С. 129-133.
3. Хоружий П.Д. Аналіз роботи Західного групового водопроводу Запорізької області / П.Д. Хоружий, О.В. Петроченко // Водне господарство України. – 2012. – №5. – С. 27-30.
4. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. Затверджено наказом МОЗУ 12.09.2010, №400. Зареєстровано в МІОУ 1.07.2010, №452/17747.
5. ДСТУ 7591 : 2014. Національний стандарт України. Якість води для систем краплинного зрошення. Агрономічні, екологічні та технічні критерії. Затверджені Мінекономрозвитку України від 2.11.2014, № 1430.
6. Патент України на корисну модель №1055190. Спосіб очистки води на паралельно працюючих фільтрувальних установках в системах водопостачання / О.В. Петроченко – Опубл. 10.03.2016, бюл. № 5.

**А.В. Петроченко**

### Совершенствование процесса восстановления фильтров группы параллельно работающих водоочистных установок

Предложен инновационный способ восстановления работоспособности фильтров группы параллельно работающих водоочистных установок систем хозяйственно-питьевого водос-

*набження и капельного орошения. Приведено научное обоснование режимов восстановления фильтров по предложенному способу. Доказана техническая и экономическая эффективность применения нового способа.*

**A.V. Petrochenko**

**Improvement of the process of restoration of filters of a group  
of water purification plants connected in parallel**

*An innovative method for restoring the working capacity of filters of a group of parallel water treatment plants for drinking water supply and drip irrigation systems is proposed. The scientific substantiation of regimes of filter restoration according to the proposed method is given. The technical and economic efficiency of the new method is proved.*