УДК 628.16

Мартинов С. Ю., к.т.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПІНОПОЛІСТИРОЛЬНИХ ФІЛЬТРІВ ЗІ ЗМІННОЮ ШВИДКІСТЮ ФІЛЬТРУВАННЯ

Проаналізовано причини роботи фільтрувальних споруд зі змінною швидкістю фільтрування. Запропоновано методику визначення витрат води для пінополістирольних фільтрів, які працюють зі змінною швидкістю фільтрування.
***Ключові слова*: змінна швидкість фільтрування, знезалізнення води, пінополістирольна засипка.**

Раніше, як правило, робота станцій очищення води розраховувалася на рівномірно роботу впродовж певної кількості годин (здебільшого, 24 год.) [2, 3]. Відповідно і фільтрувальні споруди розраховувалися на роботу з постійною швидкістю фільтрування або спадаючою (постійною швидкістю руху води в міжпоровому просторі засипки).

Як свідчить практика, роботи водопровідно-каналізаційних організацій пов’язана з постійним подорожчанням енергоресурсів, і, в першу чергу, електроенергії. Проте, зростання тарифів на послуги водопостачання та водовідведення більш сповільнене. Це призводить до зменшення обігових коштів експлуатаційних організацій і необхідності пошуку способів зменшення експлуатаційних затрат.

Одним з таких способів є використання багатозонних лічильників споживання електроенергії, що дозволяє в певні періоди доби економити на її оплаті близько 75%. Це призводить до нерівномірної роботи як водозабірних, так і водоочисних споруд.

При знезалізненні води підземних вод на пінополістирольних фільтрах, як і при проясненні поверхневих вод, як правило, розглядаються два паралельних процеси: ефективність очищення води та зростання втрат напору [1]. Перший процес є основним, а другий – супутнім. Нами розроблена модель знезалізнення води, що включає рівняння матеріального балансу, кінетики процесу, зміни пористості та гідравлічного уклону в засипці та втрат напору [4], яка розв’язується чисельним методом з використанням комп’ютера. В даній моделі передбачається використання схеми з окремими регуляторами швидкості фільтрування для кожного фільтра. Тому, при постійній витраті, швидкість фільтрування на кожному з фільтрів буде постійною.

Швидкість фільтрування може змінюватися і через зміну витрати води, яка подається на знезалізнення, що характерно при багатозонному тарифі на електроенергію, про що говорилося вище. Швидкість фільтрування в баштових установках залежить від режиму роботи артезіанського насосу і дорівнює нулю, коли насос не працює, або дорівнює продуктивності працюючого насосу, що може бути описано залежністю $V = f\left(t\right)$. Всі ці режими враховані в моделі.

Для декількох пінополістирольних фільтрів може встановлюватися один повіревідділювач [1]. Тоді, такі фільтрувальні споруди будуть працювати зі змінною швидкістю фільтрування. При однаковому напорі перед групою фільтрів, вони будуть працювати з різними витратами, що пов'язано з різними опорами комунікацій і зернистої засипки. Це потребує додаткових рівнянь для визначення витрат по кожному з фільтрів.

Розглянемо роботу n пінополістирольних фільтрів з висхідною швидкістю фільтрування та спільним повітрявідділювачем (рис. 1).

Підземна вода з витратою Q_0 аерується та надходить в повітревідділювач, з якого розділяючись на потоки подається на фільтри з витратою Q_i . Знезалізнена вода з надфільтрового простору відводиться в резервуари чистої води.

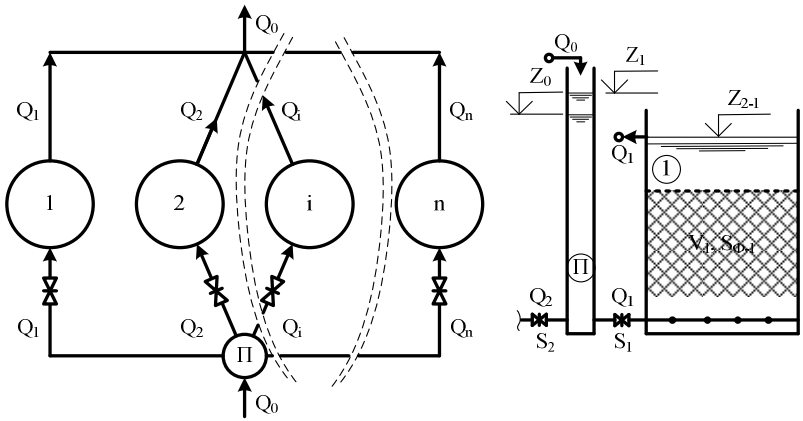

Рис. 1. Розрахункова схема
1…n – пінополістирольні фільтри; П – повітревідділювач

Втрати напору в комунікаціях, м, можна визначити за формулою

$$h'_{K-i} = S_i \cdot Q_i^2 , \qquad (1)$$

де S_i – повний опір комунікації (труби, арматура, фасонні частини, решітка тощо), с^2/м^5; Q_i – витрата води в *i*-ій комунікації, м^3/с.

Втрати напору в шарі пінополістирольної засипки, м, можна визначити за формулою

$$h_{З-i} = I_i \cdot L_i , \qquad (2)$$

де L_i – висота засипки, м;

I_i – гідравлічний уклон, м/м.

Гідравлічний уклон засипки для різних режимів роботи зручно визначати за формулою

$$I_i = 4,23 \cdot 10^3 \cdot \frac{(1-m_i)^2 \cdot \nu \cdot V_{Ф-i}}{m_i^3 \cdot d_З^2} + 1,37 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{(1-m_i) \cdot V_{Ф-i}^2}{m_i^3 \cdot d_З} , \qquad (3)$$

де m_i – поруватість шару засипки;

ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості води, м^2/с;

$V_{Ф-i}$ – швидкість фільтрування, м/год;

$d_З$ – еквівалентний діаметр зерен, мм.

Для врахування зміни поруватості засипки при фільтруванні води використовується формула

$$m_i = m_0 - \rho_i / \gamma , \qquad (4)$$

де m_0 – поруватість чистої засипки (після промивання);

ρ_i – густина осаду в шарі засипки, г/м^3, яка може бути визначена використовуючи рівняння балансу та кінетики процесу контактного знезалізнення води [4];

γ – масова концентрація твердих частинок в одиниці об'єму осаду, г/м^3.

Для неоднорідної засипки визначення гідравлічного уклону проводиться пошарово з врахуванням зміни діаметру зерен та поруватості засипки [4].

Для температури води $t_B = 0 - 35°C$ кінематичний коефіцієнт в'язкості води, м^2/с, можна визначити за формулою

$$\nu = (0,0605 \cdot t_B^2 - 5,0058 \cdot t_B + 176,32) \cdot 10^{(-8)}. \quad (5)$$

Швидкість фільтрування, м/год., може бути визначена через площу фільтрування

$$V_{Ф-i} = k \cdot Q_i \,/\, S_{Ф-i}, \quad (6)$$

де $S_{Ф-i}$ – площа фільтрування і-го фільтра, м^2;

$k = 3600$ – перевідний коефіцієнт для витрати з м^3/с в м^3/год.

Враховуючи формули (3)-(6) можна записати

$$I_i = A_i \cdot Q_i + B_i \cdot Q_i^2, \quad (7)$$

де A_i, B_i – коефіцієнти, які приймають постійні значення для кожного фільтра в певний момент часу.

Відмітку рівня води в повітревідділювачі, м, можна визначити виходячи з умови надходження води в надфільтровий простір

$$Z_{1-i} = Z_{2-i} + h_{3-i} + h'_{K-i}, \quad (8)$$

де Z_2 – відмітка рівня води у надфільтровому просторі фільтра, м.

Причому

$$Q_0 = \sum_{i=1}^{n} Q_i \quad (9)$$

та

$$Z_1 = Z_{1-1} = \ldots = Z_{1-i} = \ldots = Z_{1-n}, \quad (10)$$

Відмітку Z_2 можна визначити з умови відведення фільтрату

$$Z_2 = Z_3 + h''_k, \quad (11)$$

де Z_3 – відмітка рівня води в кінці трубопроводу фільтрату, м;

h''_k – втрати напору у комунікаціях відведення фільтрату, м, які можуть вбути визначено аналогічно формулі (1).

При об'єднанні надфільтрового простру фільтрів за допомогою трубопроводу відведення фільтрату, його діаметр розраховується на надходження витрат для промивання фільтра, які значно перевищують витрати при фільтруванні. Тому, можна вважати, що втрати напору h_k'' практично не залежать від зміни продуктивності фільтрів. Отже, відмітку Z_2 можна прийняти постійною та однаковою для всіх фільтрів

$$Z_2 = Z_{2-1} = Z_{2-2} = Z_{2-3} = Z_{2-4}. \tag{12}$$

Розглянемо паралельну роботу двох фільтрів $n = 2$ та одним повітревідділювачем. Для першого фільтра враховуючи формули (8), (7) та (1) можна записати втрати напору

$$h_1 = Z_{1-1} - Z_{2-1} = \left(A_1 \cdot Q_1 + B_1 \cdot Q_1^2\right) \cdot L_1 + S_1 \cdot Q_1^2 \tag{13}$$

та для другого фільтра

$$h_2 = Z_{1-2} - Z_{2-2} = \left(A_2 \cdot Q_2 + B_2 \cdot Q_2^2\right) \cdot L_2 + S_2 \cdot Q_2^2. \tag{14}$$

Прирівнявши формули (13) та (14) з врахуванням формул (10) та (12) отримаємо

$$\left(A_1 \cdot Q_1 + B_1 \cdot Q_1^2\right) \cdot L_1 + S_1 \cdot Q_1^2 = \left(A_2 \cdot Q_2 + B_2 \cdot Q_2^2\right). \\ L_2 + S_2 \cdot Q_2^2. \tag{15}$$

Отже, у формулі (15) для визначеної схеми з двома фільтрами та спільним повітревідділювачем невідомими є дві величини – витрати води через кожен фільтр Q_1 та Q_2. Дане рівняння може бути розв'язане з врахування балансу витрати води, тобто рівняння (9).

При більшій кількості фільтрів система рівнянь буде незамкнутою, і аналітично не вирішується. В такому випадку, може бути використаний ітераційний метод поступових наближень з наступним алгоритмом (рис. 2):

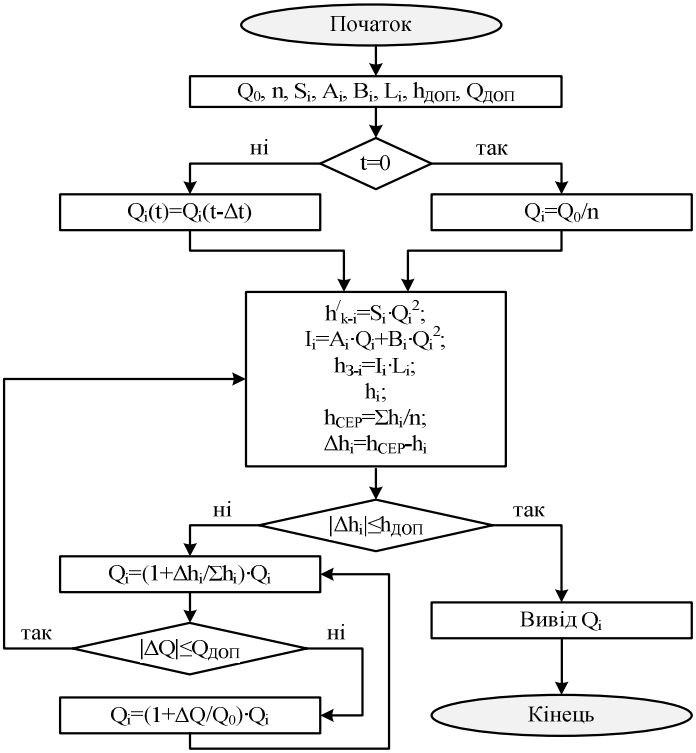

Рис. 2. Блок-схема алгоритму розрахунку витрат води для окремих фільтрів

1. Для початкового наближення, при $t = 0$, приймаються витрати через кожен фільтр однаковими, тобто $Q_i = Q_0 / n$. При розв'язуванні задачі чисельним способом методом почасової прогонки, в інші години Q_i приймаються рівними значенням, визначеним в попередньому проміжку часу $(t - \Delta t)$;

2. Визначаються втрати напору в комунікаціях та засипці кожного фільтра h'_{K-i}, h_{3-i};

3. Визначають втрати напору для кожного фільтра h_i;

4. Знаходиться середнє значення втрат напору

$$h_{СЕР} = \sum_{i=1}^{n} h_i / n; \qquad (16)$$

5. Порівнюють значення h_i для кожного фільтра з середнім $h_{СЕР}$,

$$\left| h_{СЕР} - h_i \right| \le h_{ДОП}, \qquad (17)$$

де $h_{ДОП}$ – допустима величина відхилення втрат напору, м;

6. Якщо нерівність (17) виконується для всіх фільтрів, то виводяться значення витрат фільтрів Q_i. І алгоритм припиняє роботу для даного моменту часу.

7. Якщо умова (17) не виконується, то перерозподіляють витати води пропорційно відхиленням h_i від середнього значення $h_{СЕР}$, з обов'язковою перевіркою виконання формули (9), та повертаються до п. 2.

Отже, при постійному збільшенні вартості електроенергії, одним з способів зменшення витрат електроенергії є використання багатозонних тарифів, що погіршує роботу фільтрувальних споруд, які працюють зі змінною швидкістю фільтрування. Запропонований чисельний метод визначення витрат води, які надходять на кожний з пінополістирольних фільтрів, що працюють зі змінною швидкістю фільтрування та спільним повітровідділювачем.

1. Очищення природної води на пінополістирольних фільтрах / В. О. Орлов, С. Ю. Мартинов ін.; під ред. В. О. Орлова. Монографія. – Рівне : НУВГП, 2012. – 172 с. **2.** ДБН В.2.5-74:2013 "Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування". – К. : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. **3.** Правила технічної експлуатації систем водопостачання та каналізації сільських населених пунктів України. ВНД 33-3.4-01-2001. – К. : Державний комітет України по водному господарству, 2000. – 141 с. **4.** Орлов В. О. Использование пенополистирольных фильтров при обезжелезивании воды / В. О. Орлов, С. Ю. Мартинов, К. С. Корнійчук // MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture : Polish Academy of sciences. – Lublin – Rzeszow, 2014. – Vol. 16, № 6. – С. 53–60.

Рецензент: д.т.н., професор Орлов В.О. (НУВГП)

Martynov S. Y., Candidate of Engineering, Associate Professor
(National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

MODELING OF POLYSTYRENE FOAM FILTERS WITH VARIABLE SPEED FILTRATION

Causes of filter structures with variable speed filtering analyzed in the article. Method for determining the cost of water for polystyrene filters that work with variable speed filter is proposed.
***Keywords*: variable speed filtration, iron removal, polystyrene loading.**

Мартынов С. Ю., к.т.н., доцент (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПЕНОПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ С ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТЬЮ ФИЛЬТРОВАНИЯ

Проанализированы причины работы фильтровальных сооружений с переменной скоростью фильтрования. Предложена методика определения расходов воды для пенополистирольных фильтров, работающих с переменной скоростью фильтрования.
***Ключевые слова*: переменная скорость фильтрования, обезжелезивания воды, пенополистирольная загрузка.**