

КОРЖИК М. В., к.т.н., доц.; ШУХ Б. І., магістрант,
 Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АЛГОРИТМ ФОРМУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ МОДУЛЯ ФІЛЬТРІВ В ПРОЦЕСІ ОЧИЩЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ

Розглянуто науково-практичну проблему нормування хімічних показників якості води, а саме концентрацій натрію, кальцію, магнію, калію на виході з фільтрів, яка в свою чергу є складовою схеми технологічного процесу очищення питної води. Запропоновано алгоритм формування оптимальної структури модуля іонообмінних фільтрів та структура системи керування, що реалізує цей алгоритм.

Ключові слова: питна вода, водопідготовка, іонообмінний фільтр, система керування.

© Коржик М. В., Шух Б. І., 2018

Постановка проблеми. Питна вода є одним з визначальних факторів існування людини. Властивості питної води визначають придатність її для задоволення фізіологічних, санітарно-гігієнічних, побутових та господарських потреб [1]. Якість води більшості областей України по хімічному і бактеріальному стану класифікується як забруднена і брудна (IV – V клас якості). Тому забезпечення населення доброякісною питною водою є актуальною науковою та практичною задачею.

Очищення стічних вод проводять механічними, фізико-хімічними і біологічними методами. В процесі аналізу існуючих технологічних схем водопідготовки було визначено, що більшість з них можуть бути впроваджені для первинного очищення води, наприклад, поширеним способом такої очистки є метод неперервної ректифікації [2]. Для тонкого очищення залучаються додаткові методи фільтрації, здатні забезпечити ті чи інші показники якості питної води.

Аналіз фільтрів для очищення води показав, що здебільшого вони призначені для зменшення жорсткості, мутності, очищення від заліза, сульфатів, хлоридів, нітратів та органічних домішок. Пропонована робота присвячена підвищенню ефективності очищення води від таких елементів як магній, кальцій, натрій та калій, а точніше нормуванню цих показників до значень, визначених державним стандартом [1], що передбачає впровадження відповідних іонообмінних фільтрів.

Метою роботи є розробка алгоритму роботи системи керування (СК), що підвищує ефективність стадії тонкого очищення води шляхом формування оптимальної структури модуля іонообмінних фільтрів та визначення відповідної витрати очищуваної води.

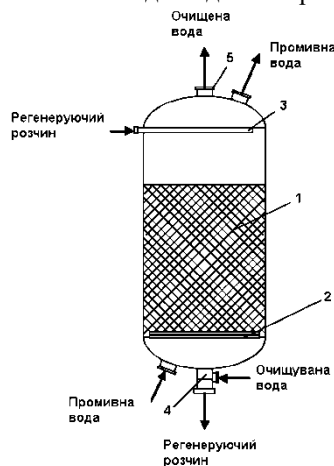


Рис. 1 – Структура іонообмінного фільтру

Структура та принцип роботи іонообмінного фільтру

Іонообмінний фільтр складається із пластикового чи сталевого корпусу, завантаженого іонообмінним матеріалом. В комплект обладнання входить запорна арматура, трубопроводи, верхній та нижній розподільючий пристрій (для забезпечення рівномірного розподілення рідини), а також ємності для регенераційного розчину. Іонообмінні фільтри відрізняються об'ємом фільтруючого завантаження, яке визначає його продуктивність.

На рис. 1 представлено типову схему іонообмінного фільтру, який працює наступним чином. Неочищена вода поступає в апарат через нижній штуцер 4 і потім проходить через розподільючий пристрій 2 в шар іоніту 1. В верхній частині апарату збирається очищений розчин і через верхній штуцер 5 виводиться з апарату. Після закінчення іонообмінного процесу апарат зупиняють для проведення регенерації іоніту. Спочатку іоніт промивають водою для видалення розчину, причому вода пропускається через апарат в тому ж напрямку, що і розчин [2].

Після промивання водою слідує стадія обробки іоніту регенераційним розчином, який пропускається звичайно в протилежному напрямку течії вихідного розчину. Далі слідує друга промивка іоніту водою з ціллю видалення регенераційного розчину, і після цієї промивки апарат готовий для проведення наступного циклу [4].

Таким чином, іонообмінний фільтр є апаратом періодичної дії і для забезпечення неперервності процесу очищення модуль фільтрів повинен містити резервні потужності у вигляді додаткових фільтрів різного призначення, що створює передумови для оптимізації структури вказаного модуля фільтрів.

За умовою матеріального балансу, кількість іонів, що поступають у фільтр із очищуваною водою повинна дорівнювати кількості іонів, затриманих в іоніті [3].

$$V \cdot E = F(C_p - C_k),$$

де V – об’єм іоніту; E – обмінна ємність іоніту (загальна кількість іонів одного типу, що затримується шаром іоніту в обмінному стані за стандартних умов); F – витрата води; C_p , C_k – початкова та кінцева концентрація іонів відповідно.

Із рівняння матеріального балансу видно що кінцева концентрація, яку необхідно забезпечити, залежить від витрати води, що подається на вхід фільтру:

$$C_k(F) = -\frac{E \cdot V}{F} + C_p. \quad (1)$$

Розглянемо роботу модуля фільтрів при очищенні води із початковою концентрацією іонів (приблизні значення після процесу неперервної ректифікації): $C_{pNa} = 467$ мг/дм³, $C_{pCa} = 180$ мг/дм³, $C_{pMg} = 160$ мг/дм³, $C_{pK} = 90$ мг/дм³ [1].

Розрахунок демонструє істотну нелінійність кінцевої концентрації іонів на фільтрах всіх типів (див. рис. 2), що в умовах змінного навантаження установи водопідготовки потребує оперативної зміни структури модуля фільтрів [5].

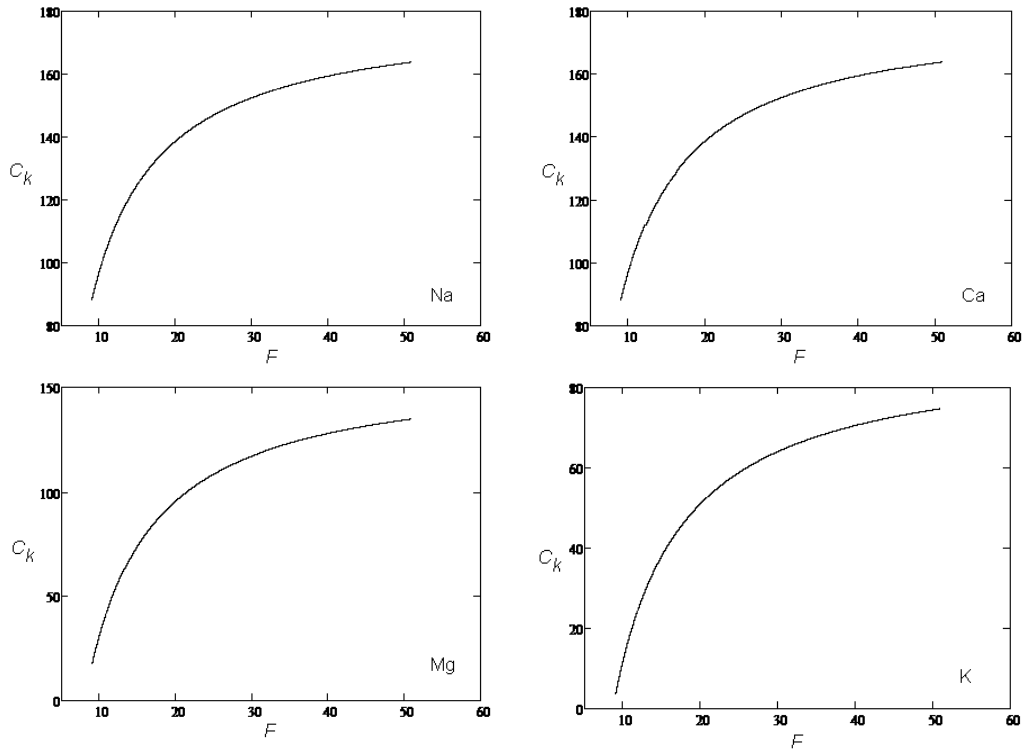


Рис. 2 – Статичні характеристики іонообмінних фільтрів за каналом витрата – кінцева концентрація іонів Na, Ca, Mg та K відповідно.

Алгоритм формування оптимальної структури

Для керування рівнем концентрації забруднюючих воду іонів Na, Ca, Mg, K в іонообмінних фільтрах шляхом оперативної зміни структури модуля фільтрів сформуємо критерій оптимальності у відповідності із [1]:

$$I = \left\{ \begin{array}{l} 150 \leq C_{kNa} \leq 210; \\ 65 \leq C_{kCa} \leq 110; \\ 15 \leq C_{kMg} \leq 35; \\ 10 \leq C_{kK} \leq 25. \end{array} \right\}, \text{ мг/дм}^3. \quad (2)$$

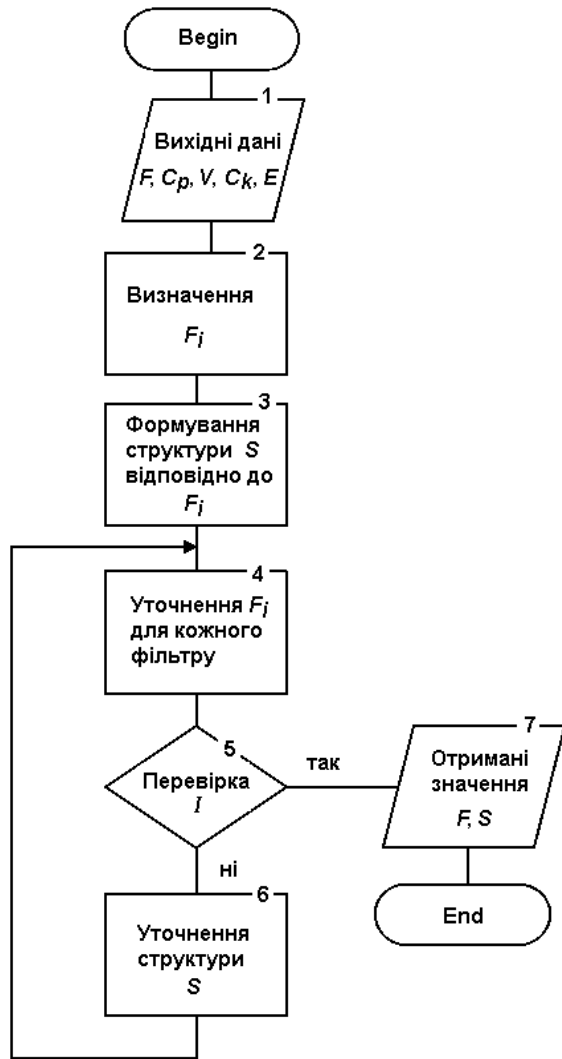


Рис. 3 – Блок-схема алгоритму

F_i та відповідна структура S визнаються оптимальними (у даному випадку $F = 10 \text{ м}^3/\text{год}$, $S_{Na} = S_{Ca} = S_{Ca} = S_K = 1$, блок 7) і реалізуються на об'єкті засобами системи керування [6].

Систему керування модулем фільтрів (див. рис. 4) можна створити на базі будь якого промислового контролера із достатньою кількістю входів/виходів відповідних типів. Система повинна містити типовий контур регулювання витрати, який доповнений вузлом прийняття рішень (у відповідності з наведеним алгоритмом) та групами дискретних каналів перемикавання, що керують уведенням в дію окремих іонообмінних фільтрів кожного типу.

За даними універсальних датчиків концентрації іонів (QE) на вході та виході модуля фільтрів формуються вихідні дані для вузла прийняття рішень, що визначає оптимальну у сенсі (2) структуру модуля фільтрів та відповідне значення витрати очищеної води, яке у вигляді завдання подається на типовий контур регулювання витрати в традиційний спосіб (за датчиком витрати FE).

Вихідними даними для роботи алгоритму (блок 1) є параметри іонообмінних фільтрів, що утворюють модуль фільтрації – об'єм іоніту, обмінна ємність іоніту, та вимірені технологічні параметри на вході та виході модуля – реальна витрата води, початкова та кінцева концентрація іонів на фільтрах кожного виду.

У відповідності з (1) визначається витрата для кожного типу фільтрів ($F_{Na} = 14.7$; $F_{Ca} = 10.3$; $F_{Ca} = 9.9$; $F_K = 11.1$) та встановлюється оцінка оптимального значення витрати $F_i = 14.7 \text{ м}^3/\text{год}$, як максимальне з визначених (блок 2).

Для оціночного оптимального значення витрати F_i (блок 3) визначається оптимальна структура модуля S – кількість задіяних фільтрів (у даному випадку по одному кожного типу $S_{Na} = S_{Ca} = S_{Ca} = S_K = 1$).

Визначається оціночне значення кінцевої концентрації C_k на фільтрах кожного типу (блок 4), що відповідає оцінці F_i ($C_{kNa} = 200$; $C_{kCa} = 123.9$; $C_{kMg} = 72.7$; $C_{kK} = 37.1$).

Виконується перевірка результату (блок 5) на відповідність критерію (2). У даному випадку концентрації на фільтрах Ca, Mg та K не є оптимальними.

Здійснюється уточнення структури – зміна кількості задіяних фільтрів (послідовне варіювання S_{Na} , S_{Ca} , S_{Ca} та S_K , блок 6) та повторне визначення кінцевих концентрації C_k (C_{kNa} , C_{kCa} , C_{kMg} , C_{kK} , блок 4).

Якщо в результаті циклічного процесу зміни структури модуля S не вдається отримати оптимальні значення для всіх типів фільтрів – у блоці 4 здійснюється корекція поточного значення F_i у бік зменшення і процедура пошуку повторюється.

У результаті роботи алгоритму оціночне значення

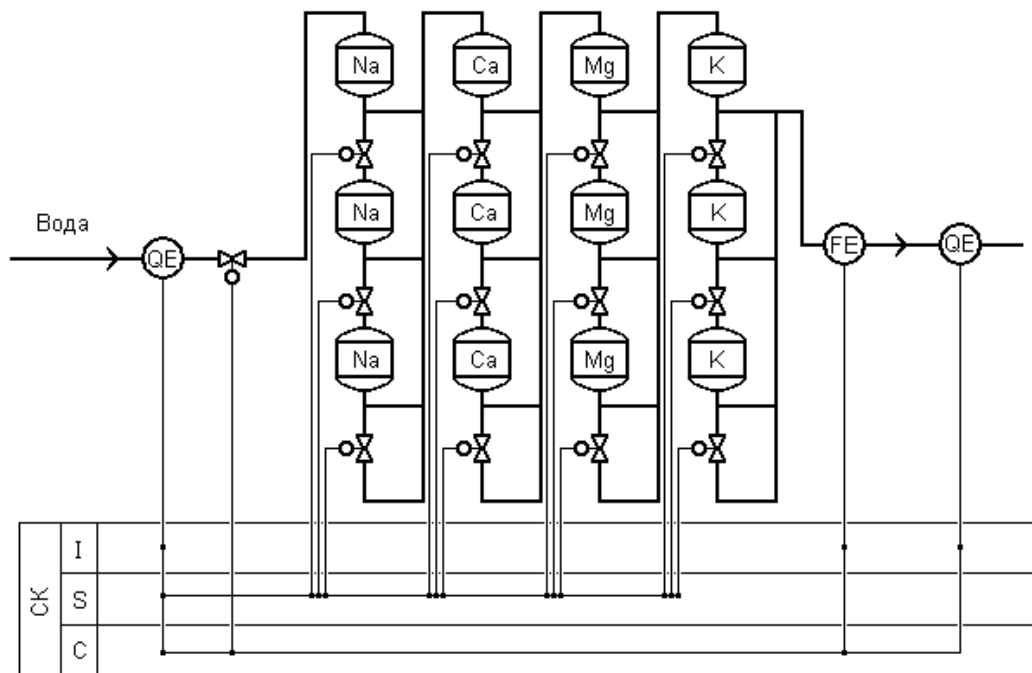


Рис. 4 – Функціональна схема системи керування модулем фільтрів

Висновки. На основі аналізу сучасного стану обладнання для очищення питної води запропоновано алгоритм визначення оптимальної структури модуля іонообмінних фільтрів та відповідної витрати очищуваної води. Реалізація системи керування на базі наведеного алгоритму дозволить підвищити ефективність стадії тонкого очищення установа водопідготовки.

Предметом подальших досліджень у цій області є удосконалення наведеного алгоритму шляхом доповнення його блоками, що узгоджують поточну структуру всього модуля із циклами регенерації окремих іонообмінних фільтрів.

Список використаної літератури

1. ДСТУ 7525:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості / Національний стандарт України. – Київ: МінЕкономРозвитку України, 2014. – 30 с.
2. Basic water treatment / Chris Binnie and Martin Kimber. – London: ICE Publishin, 2013. – 280 p.
3. Одинцов К. Ю., Соболев А. С., Гофман И. Н. Гидродинамические способности работы ионитовых фильтров / Труды МИХТХТ. – М., 1974. – Т. 4. – Вып. 1. – С. 45–47.
4. Соболев А. С., Комарова И. В., Одинцов К. Ю. [и др.] Применение математической модели для расчета промышленного ионообменного фильтра / Труды МИХТХТ. – М., 1975. – Т. 5. – Вып. 1. – С. 185–189.
5. Основы расчета и оптимизации ионообменных процессов / Сенявин М. М., Рубинштейн Р. Н., Веницианов Е. В. [и др.] – М: Наука, 1972. – 175 с.
6. Закова И. М., Комарова И. В., Одинцов К. Ю., Лебедев В. Ю. Моделирование технологических процессов в ионитных фильтрах // Теплоэнергетика. – 1983. – № 7. – С. 13–16.

Надійшла до редакції 29.05.2018