

УДК 628.1.147

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.

DOI: 10.20535/2306-1626.1.2018.143427

© 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.

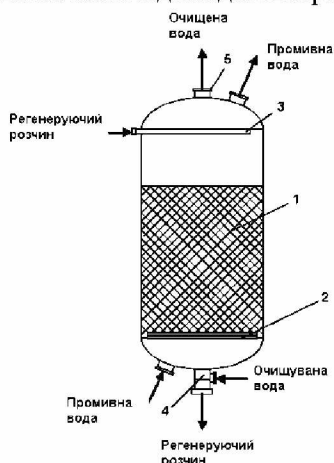


Рис. 1 – Структура іонообмінного фільтру

### 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 розподілюючий 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 розподілюючий 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/дм<sup>3</sup>,  $C_{pCa} = 180$  мг/дм<sup>3</sup>,  $C_{pMg} = 160$  мг/дм<sup>3</sup>,  $C_{pK} = 90$  мг/дм<sup>3</sup> [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].

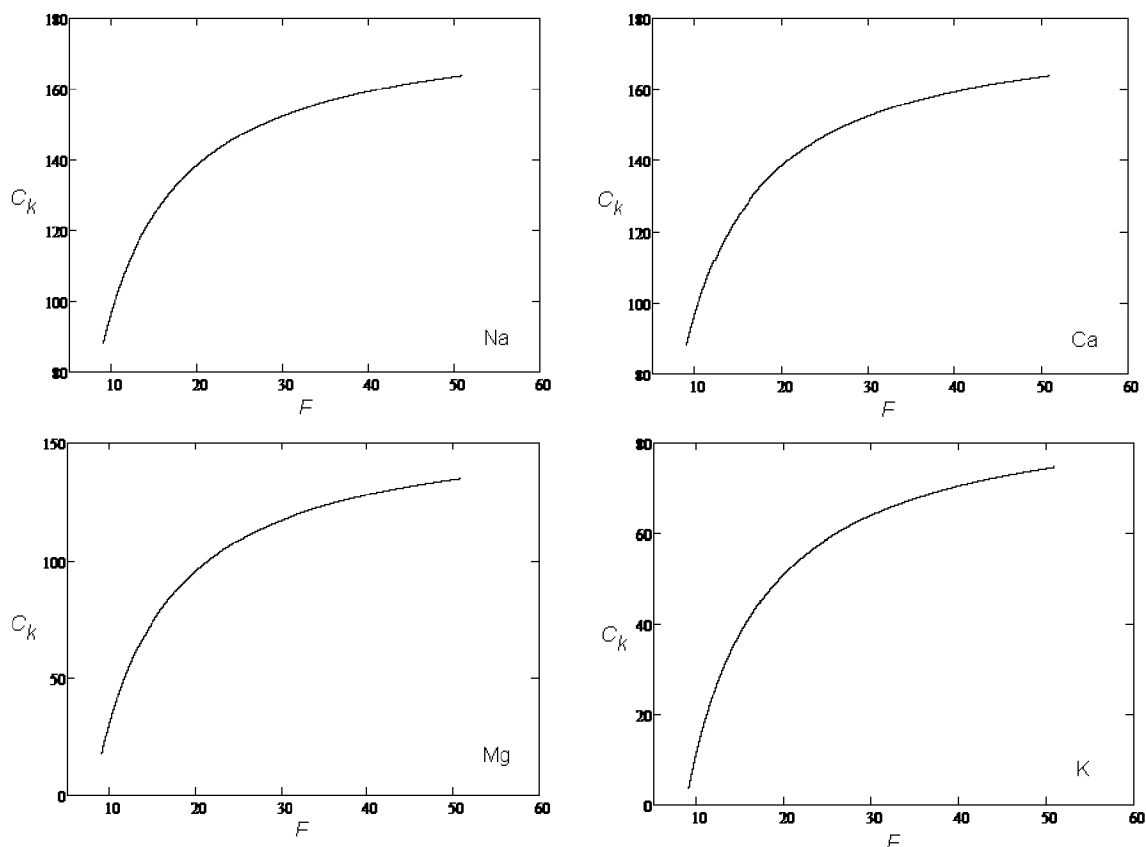


Рис. 2 – Статичні характеристики іонообмінних фільтрів за каналом витрата – кінцева концентрація іонів Na, Ca, Mg та K відповідно.

### 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 перемикання, що керують введенням 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 значання 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 концентрацій  $C_k$  ( $C_{kNa}$ ,  $C_{kCa}$ ,  $C_{kMg}$ ,  $C_{kK}$ , 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 значенню  $F_i$  у бік зменшення і процедура пошуку повторюється.

У результаті роботи алгоритму оціночне значення

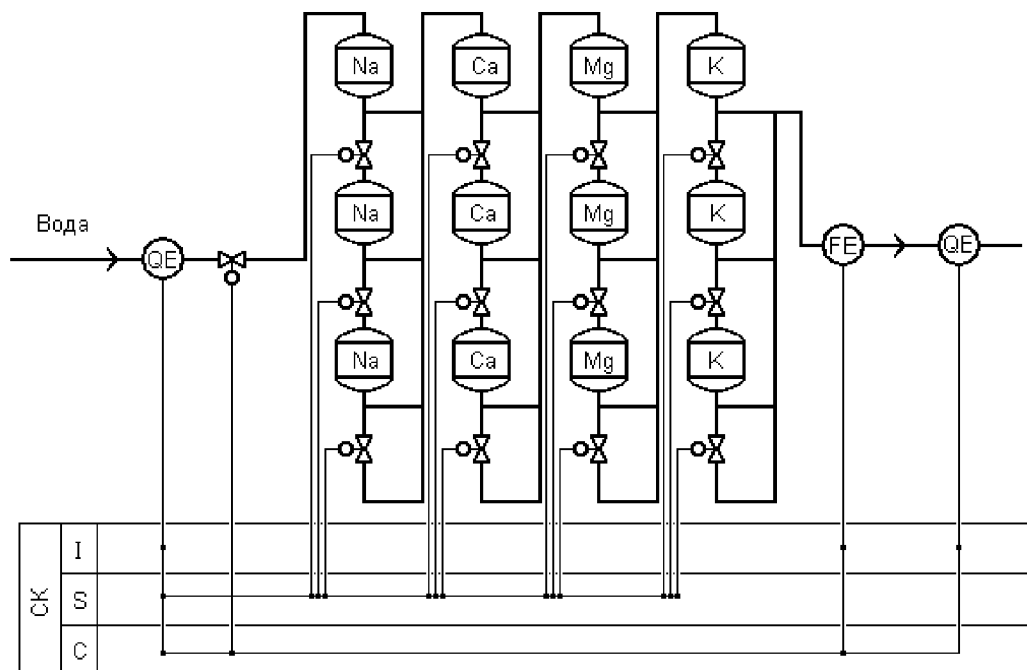


Рис. 4 – Функціональна схема системи керування модулем фільтрів

**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 установка 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 МИТХТ. – 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

*Korzhyk M. V., Shukh B. I.*

#### ALGORITHM FOR OPTIMAL STRUCTURE FORMATION OF FILTER MODULE IN THE PROCESS OF DRINKING WATER PURIFICATION

*The scientific-practical problem of the regulation of chemical parameters of water quality, namely concentrations of sodium, calcium, magnesium, potassium at the outlet of filters, which in turn is an integral part of the scheme of the process of purification of drinking water, is considered. An algorithm for the formation of an optimal structure of the ion exchange filter module and the structure of the control system that implements this algorithm is proposed.*

The analysis of filters for water purification showed that they are mainly intended to reduce rigidity, turbidity, purification of iron, sulfates, chlorides, nitrates and organic impurities. The proposed work is devoted to increasing the efficiency of water purification from such elements as magnesium, calcium, tri-potassium and potassium, or more precisely, to normalize these indicators to the values defined by the state standard, which involves the introduction of appropriate ion-exchange filters.

The aim of this article is to develop a control system algorithm, which increases the efficiency of the stage of fine water purification by forming the optimal structure of the module of ion exchange filters and determining the appropriate flow of purified water.

It has been determined that the ion exchange filter is a periodic apparatus and, in order to ensure the continuity of the purification process, the filter module must contain backup capacities in the form of additional filters of different purposes, which creates the preconditions for optimizing the structure of the specified filter module.

On the basis of the analysis of the current state of the equipment for purification of drinking water, an algorithm for determining the optimal structure of the module for ion exchange filters and the corresponding flow of purified water is investigated. Implementation of the control system based on the given algorithm will increase the efficiency of the stage of fine purification of the installation of water treatment.

**Keywords:** drinking water, water preparation, ion exchange filter, control system.

#### References

1. DSTU 7525:2014 [Drinking water. Requirements and methods of quality control. National Standard of Ukraine]. Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine, Kyiv. Binnie C. and Kimber M. (2013). "Basic water treatment", ICE Publishin, London.
2. Basic water treatment / Chris Binnie and Martin Kimber. – London: ICE Publishin, 2013. – 280 p.
3. Odintsov K. U., Sobol A. S. and Hofman I. N. (1974). "Hydrodynamic abilities of ion-exchange filters". Proceedings of MITHT, Moscow, USSR, vol. 4, iss. 1, pp. 45–47.
4. Sobol A. S., Komarov I. V., Odintsov K. U. [and etc.] (1975). "Application of mathematical model for calculation of industrial ion-exchange filter". Proceedings of MITHT, Moscow, USSR, vol. 5, iss. 1, pp. 185–189.
5. Seniavin M. M., Rubinstine R. N., Venitsianov E. V. [and etc.] (1972). "Basics of calculation and optimization of ion-exchange processes". Nauka, Moscow, USSR.
6. Zakova I. M., Komarova I. V., Odintsov K. U. and Lebedev V. U. (1983). "Modeling of technological processes in ion-exchange filters". Thermal Engineering, Moscow, USSR. no. 7, pp. 13–16.

---

УДК 66-661

**МИЛЕНЬКИЙ В. В., к.т.н., доц.; ЗАНЬ О. В., магістрант; ДОЛИНЮК Б. С., магістрант  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

## **ВИКОРИСТАННЯ ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ КОНТАКТНОГО АПАРАТУ У ВИРОБНИЦТВІ СІРЧАНОЇ КИСЛОТИ**

В сучасному світі в зв'язку з швидким розвитком комп'ютерної техніки і програмних засобів широкого застосування знайшли імітаційні моделі для об'єктів керування. У наведений механізм побудови імітаційної моделі контактного апарату у виробництві сірчаної кислоти. Показані графіки реакцій температур при ступінчатій зміні концентрації та температури газу, а також графіки, що демонструють реакції температури та концентрації газу на короткотривалі збурення. Після проведення аналізу отриманих результатів зроблено висновки щодо критичності відхилень температури та концентрації газу від норми.

**Ключові слова:** імітаційна модель, сірчана кислота, перехідний процес, збурення, концентрація, температура.

**DOI:** 10.20535/2306-1626.1.2018.143432

© Миленький В. В., Зань О. В., Долинюк Б. С., 2018.