**УДК 504.064**

# ВПЛИВ СЕГМЕНТНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ФІЛЬТРУ НА ДООЧИЩЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ

***Л.Л. Грабовська, І.П. Крайнов ****

***Хмельницький національний університет,***

****Міжвідомчий екологічний центр НАН України***

Создана и проанализирована база данных бытовых средств доочистки питьевой воды. С учетом недостатков существующих средств доочистки питьевой воды разработана новая конструкция сегментного фильтра. Исследована эффективность доочистки воды с его применением. Предложенная конструкция фильтра позволяет реагировать на изменения в составе примесей воды, оптимизировать эксплуатацию и регенерацию фильтра. Разработана математическая модель сегментного фильтра, которая может быть использована для создания соответствующей программы расчета параметров сегментного фильтра с учетом конкретных местных условий или инженерных решений.

*Бытовая доочистка, сегментная конструкция, математическая модель, характеристические прямые*

## ВСТУП

В сучасному житті все частіше застосовуються засоби, спрямовані на доведення питної води до прийнятної якості саме в місці її безпосереднього використання. Дія їх базується на різних принципах. Вони здатні очищувати різні обсяги води та застосовуються за різних умов експлуатації. Але конструкція більшості засобів не дозволяє реагувати на зміни у складі домішок води, що є суттєвим недоліком. Склад домішок води, що очищується характеризується динамікою якісних та кількісних показників (сезонні коливання, аварійні ситуації і т. д.).

Мета данної роботи створити сегментну конструкцію фільтру.

## УМОВИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Використовувалися такі методи дослідження, як аналіз наукової літератури, порівняння, аналіз, синтез і систематизація науково-теоретичних і дослідних даних.

Для створення математичної моделі сегментного фільтра застосовували метод математичного моделювання.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

З метою оцінки об'єктивних можливостей побутових пристроїв поліпшення якості питної води була створена база даних існуючих засобів її доочистки.

Аналіз цієї бази дозволив зробити такі висновки:

- Більшість засобів побутового доочищення (тривіальна назва – «фільтри», хоча принцип дії варіюється від дійсної фільтрації до зворотного осмосу) має загальний та суттєвий недолік – вони дозволяють очищувати воду від переліку домішок, що запрограмовано фірмою – виробником.
- Сама конструкція фільтрів ускладнює підбір методів регенерації наповнювачів (картриджів) та саму регенерацію.

Тому виникає необхідність створення нового типу побутового фільтру, який би дозволив проводити гнучку доочистку, тобто враховувати конкретні місцеві умови – склад та кількісну характеристику домішок у воді, що піддається доочистці. Таким фільтром може стати сегментний фільтр, конструкцію якого запропоновано у цій роботі.

Його конструкційною особливістю є використання комбінації різних доочищувачів. Кожен доочищувач (наповнювач) знаходиться в окремому елементарному сегменті. За такої умови можна підбирати такі сегменти з наповнювачами, які дозволили би очищувати воду саме від сукупності тих домішок, що притаманні саме їй. Крім того, підібрати метод регенерації для окремого наповнювача значно легше. Якщо ресурс окремого наповнювача вичерпаний, то замінювати потрібно лише відповідний сегмент, а не весь картридж. Це здешевлює очистку, регенерацію та й сам фільтр в кінцевому рахунку.

Сегментна конструкція дає ще одну перевагу: можливість використовувати лише певні сегменти в певний момент часу, тобто проводити очистку такої глибини, яка необхідна споживачу (видалити лише механічні домішки (іржу), знезаразити, знизити вміст залишкового хлору і т. д.). Наприклад, для гігієнічних процедур чи миття посуду тонка очистка води не потрібна, частину сегментів можна просто не використовувати. В цьому також реалізується принцип гнучкості доочистки води. Для фільтрів інших типів таке розділення наповнювачів конструктивно неможливе, тому вичерпується ресурс усіх шарів наповнювачів незалежно від необхідності у їх застосуванні.

Крім того, сегментна конструкція фільтру дозволить реагувати на будь-які зміни в складі води, що очищується (сезонні коливання, аварійнй ситуації і т. д.).

Дія даного засобу базується на адсорбції, фільтрації та іонообміні. Ці процеси в різних комбінаціях дають змогу проводити селективну очистку

завданої глибини, тобто отримувати воду необхідної якості на виході з оптимальним для споживача складом остаточних домішок чи певною структурою.

Усі вищезгадані процеси є процесами масопередачі. Тому звернемося насамперед до її головних закономірностей.

Характер протікання процесів масопередачі залежить від того, проводиться цей процес періодично чи безперервно.

Періодичні процеси адсорбції для побутової доочистки води найбільш характерні.

Розглянуто випадок, коли в шар адсорбенту, що не містить адсорбтиву, безперервно поступає й рухається з ідеальним витісненням потік з деякою концентрацією речовини, що поглинається. Через деякий проміжок часу на фронтальній ділянці шару адсорбенту, внаслідок різкого падіння рушійної сили, поглинання адсорбтиву практично припиниться і буде відбуватися «проскок» потоку крізь ділянку практично без зміни концентрації. Зона адсорбції переміщується в наступну за фронтальною ділянку.

Використовується припущення: якби швидкість поглинання була би нескінченно великою, то адсорбція в наступних шарах відбувалася б лише після повного насичення попередніх. Однак швидкість масопередачі кінцева і розподіл адсорбтиву за висотою шару відбувається плавно, з утворенням фронту адсорбції. При цьому $\tau_1 \langle \tau_2 \langle ... \langle \tau_i$, де $\tau$ – час, що пройшов з початку процесу.

Згідно дослідних даних, наприкінці певного часу профіль фронту адсорбції стає практично незмінним. Час роботи шару до насичення його фронтальної ділянки в періодичному процесі є періодом формування фронту адсорбції ($\tau_{ср}$).

Таким чином, зона адсорбції переміщується в часі по всьому шарові адсорбенту. При цьому концентрація адсорбтиву в зоні плавно змінюється. Ця зміна концентрації відбувається по різному для фронтального та наступних ділянок шару.

По закінченню першого періоду формування фронту адсорбції в нерухомому шарі адсорбенту починається другий період – паралельного переносу стаціонарного фронту адсорбції. Він характеризується переміщенням незмінного профілю концентрацій у напрямку потоку з певною постійною швидкістю u.

З моменту виходу з шару точки фронту розчину з нульовою концентрацією, що відповідає початку «проскоку», завершується час адсорбційної або захисної дії шару.

Середня концентрація адсорбтива при цьому є умовною динамічною активністю шару адсорбенту. Вона характеризує ємність адсорбенту в динамічних умовах, може вимірюватися не лише кількістю поглинутої речовини, але й проміжком часу, що пройшов від початку поглинання до моменту «проскоку».

Розглядається працюючий шар – ділянка шару адсорбенту довжиною $l_0$, тобто зона масопередачі.

Ця зона характеризується наступними гранично можливими умовами:

$l = 0$, $y = y_0$, $x = x_k^*$, $l = l_0$, $y = x = 0$,

де y – концентрація адсорбтива в потоці розчину;

x – концентрація адсорбтива в адсорбенті.

Таким чином, в початковому перерізі зони масопередачі концентрація адсорбтиву в адсорбенті дорівнює $x_k^*$, тобто рівноважна з початковою концентрацією $y_0$ адсорбтиву в розчині.

В розрахунках процесів масопередачі доводиться за кінцеву концентрацію адсорбтиву в потоці приймати те значення концентрацій, яке можна визначити за допомогою існуючих методів аналізу рідкої фази, тобто дещо зсувати межі зони до її середини. Так, в розрахунковій практиці часто за граничні межі існування зони масопередачі приймають умовно наступне:

$l = 0$, $y = 0{,}95\ y_0$, $x = x_k^*$, $l = l_0$, $y = 0{,}05\ y_0$, $x = x_0$.

Таким чином, за практично працюючий, приймається шар адсорбенту, в якому відбувається падіння концентрації компонента, що поглинається, від початкової $0{,}95\ y_0$ до $0{,}05\ y_0$.

Відповідно кількість речовини M, що поглинається в зоні масопередачі, дорівнює:

$$M = l_0 s(0.95y_0 - 0.05y_0) = 0.9 l_0 s y_0,$$

де s – площа поперечного перерізу шару.

Разом з тим, величина M може бути визначена за допомогою рівняння масопередачі. Враховуючи, що поверхня контакту фаз в даному випадку практично не може бути визначена, використовується рівняння масопередачі з використанням об'єму зони масопередачі.

$$M = K_{yv} V_0 \Delta y_{cp} \tau_m = K_{yv}\ l_0 s\ \Delta y_{cp} \tau_m ,$$

де $K_{yv}$ – об'ємний коефіцієнт масопередачі; $\tau_m$ – час проходження фронту адсорбції по зоні масопередачі; $\Delta y_{cp}$ – середня рушійна сила масопередачі, яка визначається таким чином:

$$\frac{0{,}95y_0 - 0{,}05y_0}{\int_{0{,}05y_0}^{0{,}95y_0} \frac{dy}{y - y^*}} = \frac{0{,}9y_0}{n_{0y}} = \Delta y_{cp}$$

Тоді $$M = \frac{sun_{oy}0{,}9y_0\tau_m}{n_{0y}} = su0{,}9y_0\tau_m$$

З врахуванням $l_0 = \frac{un_{0y}}{K_{yv}}$,

$$M = \frac{K_{uv}un_{0y}\Delta y_{cp}\tau_m}{K_{uv}} = sun_{oy}\Delta y_{cp}\tau_m$$

Таким чином, $M = suy_0\tau_m 0{,}9$

Так як величини u та $\tau_m$, що характеризують зону адсорбції, визначаються експериментально, то ми введемо змінну $x=u\tau_m$, що буде характеризувати зону адсорбції.

Величину $y_0$ можна взяти з результатів аналізу певних речовин у воді визначеного зразка.

Площу перерізу можна розрахувати, виходячи з середньостатистичних розмірів існуючих картриджів (фільтрів). При цьому необхідно враховувати їх форму та конструктивне рішення.

Величину М позначимо через У.

Таким чином ми отримаємо рівняння типу:

$$Y = 0.9sxy_o$$

Воно схоже на рівняння прямої, що проходить через центр координат:

$$Y = kx$$

де $k = 0.9sy_0$

Це рівняння й проаналізовано, при зміні $y_0$ у відповідності з результатами аналізів зразків води.

Математична модель сегментного фільтру являє собою сукупність характеристичних рівнянь окремих сегментів.

Така модель може бути розв'язана звичайними математичними засобами, має графічну інтерпретацію (сукупність прямих), отже піддається оптимізації.

Модель може бути використана для створення відповідної програми розрахунку параметрів сегментного фільтру з врахуванням конкретних місцевих умов чи інженерних рішень.

Модель має вигляд:

$$\begin{cases} Y_1 = 0.9sx_1 \\ Y_2 = 0.9sx_2 \\ . \\ . \\ . \\ Yn = 0.9sx_n \end{cases}$$

В якості прикладу розглянуто сегментний фільтр для води міста Хмельницького.

Математична модель такого фільтру прийме вигляд:

$$\begin{cases} \mathrm{Y} = 14 * 10^{-7} x \\ Y = 0.067 * 10^{-7} x \\ Y = 0.056 * 10^{-7} x \\ Y = 0.0256 * 10^{-7} x \end{cases}$$

Ці рівняння можна використати для графічної оптимізації параметрів фільтру шляхом побудови характеристичних прямих.

У даному випадку отримано такий масив даних (табл. 1):

Таблиця 1

| У | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ |
|---|---|---|---|---|
| 0,827 | $0{,}059*10^{-7}$ | $14{,}77*10^{-7}$ | $31{,}2*10^{-7}$ | $12{,}34*10^{-7}$ |
| $38{,}75*10^{-4}$ | $0{,}00028*10^{-7}$ | $0{,}069*10^{-7}$ | $0{,}146*10^{-7}$ | $0{,}058*10^{-7}$ |
| $33{,}00*10^{-4}$ | $0{,}00024*10^{-7}$ | $0{,}059*10^{-7}$ | $0{,}125*10^{-7}$ | $0{,}049*10^{-7}$ |
| $15{,}87*10^{-4}$ | $0{,}00011*10^{-7}$ | $0{,}028*10^{-7}$ | $0{,}059*10^{-7}$ | $0{,}024*10^{-7}$ |

Для побудови графіків прологарифмовано значення х (табл. 2):

Таблиця 2

| $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ | У |
|---|---|---|---|---|
| 5,77 | 8,17 | 8,49 | 8,09 | 0,827 |
| 3,44 | 5,84 | 6,16 | 5,77 | $38{,}75*10^{-4}$ |
| 3,38 | 5,77 | 6,09 | 5,69 | $33{,}00*10^{-4}$ |
| 3,04 | 5,45 | 5,77 | 5,38 | $15{,}87*10^{-4}$ |

Аналізуючи графіки (характеристичні прямі) можна зробити висновок, що найбільш задовольняє умовам ефективної очистки умови

масопередачі, які відповідають У(М)=0,827. В цьому випадку з води видаляється максимальна кількість домішок.

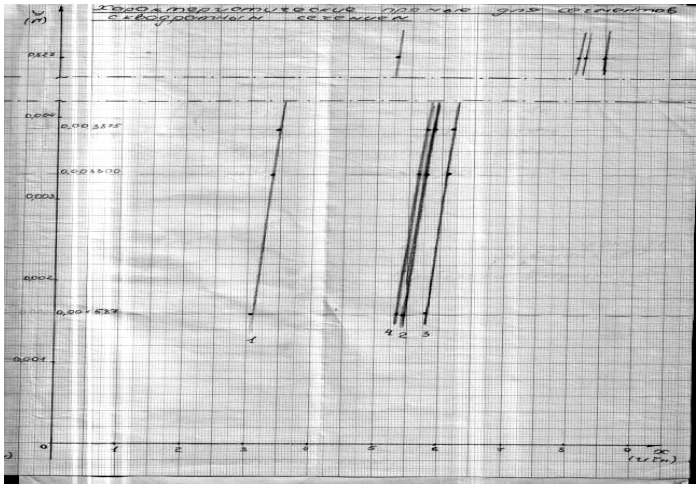


Рисунок 1 – Графічна інтерпретація математичної моделі сегментного фільтру для питної води м. Хмельницького

При цьому $x=u\tau_m$ має оптимальне значення з точки зору тривалості служби сегментів до регенерації, адже чим вище х, тим вище $\tau_m$. Але й високе значення u також актуальне, це свідчить про високу швидкість очистки.

## ВИСНОВКИ

1. Запропонована сегментна конструкція фільтру дозволяє проводити гнучку доочистку, тобто враховувати конкретні місцеві умови – склад та кількісну характеристику домішок у воді, що піддається доочистці, проводити очистку такої глибини, яка необхідна споживачу.
2. Сегментна конструкція фільтру дає можливість вибрати оптимальні за властивостями сегменти у відповідності до динаміки змін у складі води, що очищується (сезонні коливання, аварійні ситуації і т. д.).
3. Створена математична модель сегментного фільтру може бути використана для відповідної програми розрахунку параметрів сегментного фільтру з врахуванням конкретних місцевих умов чи інженерних рішень.

## *ЛІТЕРАТУРА:*

1. *Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води: Підручник . – К.: Вища шк., 2005. – 671 с.*
2. *Клячко В.А., Апельцин И.Э. Очистка природных вод. – М.: Стройиздат, 1971. – 579 с.*

3. *ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством».*
4. *Кульский Л.А. Основы химии и технологии воды. – К.: Наукова думка, 1991. – 568 с.*
5. *Фізико–хімічні основи технології очищення стічних вод: Підручник / Під заг. ред. Запольського А.Г. – К.: Лібра, 2000. – 552 с.*

## INFLUENCE OF A SEGMENT DESIGN OF THE FILTER ON ADDITIONAL CLEANING OF POTABLE WATER

***L.L. Grabovska, I.P. Kraynov***

The database of household means of additional cleaning of potable water is created and analysed. In view of lacks of existing means of additional cleaning of potable water the new design of the segment filter is developed. Efficiency of additional cleaning of water on it is investigated. The offered design of the filter allows to react to changes in structure of impurity of water, to optimize operation and regeneration of the filter.

УДК 504.064
Грабовська Л.Л., Крайнов І.П. Вплив сегментної конструкції фільтру на доочищення питної води // Питання біоіндикації та екології. – Запоріжжя: ЗНУ, 2008. – Вип. 13, № 1. – С. 60–67.

Створена та проаналізована база даних битових засобів доочищення питної води. З урахуванням недоліків існуючих засобів розроблена нова конструкція сегментного фільтра. Досліджена ефективність доочищення води з його використанням. Запропонована конструкція фільтру дозволяє реагувати на зміни у складі домішок води, оптимізувати експлуатацію та регенерацію фільтру. Розроблено математичну модель сегментного фільтру, яка може використовуватися для створення відповідної програми розрахунку параметрів сегментного фільтру з урахуванням місцевих умов або інженерних рішень.
Бібл. 5. Табл. 2. Рис.1.