

УДК 626.84:644.65:614.777(075.8)

Ф.І.Гончаров, В.М.Штепа

Національний університет біоресурсів і природокористування України

АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ ПРОМИВКОЮ ФІЛЬТРА СИСТЕМИ БЕЗПЕЧНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Проаналізовано функціональні особливості фільтра системи безпечного водопостачання (СБВ), розроблено та досліджено відповідну систему автоматичного керування (САК).

Ключові слова: *система автоматичного керування, системи водопостачання, фільтр.*

У світовому масштабі надзвичайно гостро стоїть питання раціонального використання води у комунально-промислових цілях. Україна, перебуваючи у несприятливих умовах щодо водних поновлюваних ресурсів, не виконує жорстких цільових програм стосовно збереження й ощадливого використання запасів води. Її витрати на одиницю виробленої продукції значно перевищують такі показники у розвинутих країнах Європи: Франції – 2,5 рази; Великобританії, Швеції – 4,2 рази; Німеччини – 4,3 рази.

При цьому збільшується ймовірність виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного походження, коли сучасне обладнання та схеми систем водопостачання і водопідготовки виявляються цілковито неефективним.

Це викликано рядом факторів:

- спеціалізовані системи встановлюються лише у випадку появи надзвичайних ситуацій – за цей час загинуть люди, тварини, технологічні процеси можуть невідворотно зупинитись;
- штатне обладнання нездатне протидіяти надзвичайним ситуаціям;
- техніко-економічні характеристики традиційного обладнання протидії надзвичайним ситуаціям мають вузьку пробільність що обмежує коло широкого його застосування.

Для виправлення ситуації необхідно використовувати нові сучасні розробки з відновлення властивостей водних розчинів, створювати замкнуті цикли водопостачання. Ефективним та економічно вигідним засобом вирішення таких завдань продемонструвала себе СБВ [1, 2, 3], яка відноситься до систем транспортування рідини і може бути застосована в якості альтернативного енерго-ресурсозберігаючого джерела водопостачання в енергетиці, машинобудуванні, радіо- і приладобудуванні, легкій і харчовій промисловості, будівництві, агропромисловому комплексі.

СБВ являє собою гідротранспортну систему. У базовому варіанті виконання (рис. 1) система дозволяє регенерувати 3,6 м³ рідких стоків в годину при споживанні електроенергії 3 кВА/год. Концентрація солей металів (Zn, Cr, Ni) на виході установки може досягнути 100 мг/л і більше.

Відповідно з технічними особливостями устаткування в процесі очистки води в СБВ відбувається забруднення фільтруючого елемента (рис. 2). Після цього протягом певного часу проводиться його регенерація. Час промивки фільтра впливає на роботу всього водоочисного обладнання в цілому. Для підвищення ефективності роботи водоочисного обладнання розроблено алгоритм роботи САК промивкою фільтра.

При забрудненні фільтруючого елемента в камері 2 підвищується гідравлічний опір (рис. 2). Перетворювач гідравлічного тиску П передає на керуючий пристрій (КП) відповідну інформацію. У потрібний момент часу КП запускає процедуру "промивка фільтра". Клапан Кл1 закривається і призупиняється відтік до споживача якісної води після фільтра. Деякий час його надфільтрувальна камера 1 заповнюється очищеною водою.

При досягненні достатнього для промивки фільтруючого елемента початкового заданого рівня в КП формується команда "відкрити заслінку З1". Промивна вода низхідним швидким потоком псевдозріджує плаваючу фільтрувальну засипку в камері 3. При цьому збільшуються зазори між фільтрувальними частинками. У подальшому відбувається відрив і змиття з поверхні складових частинок засипки накопиченого бруду з подальшим захопленням його швидким промивним потоком і транспортуванням у згущувач. У процесі спорожнення надфільтрувальної камери і досягненні кінцевого заданого рівня закінчення промивки КП формує сигнал "закінчення промивки". Закривається заслінка З1, клапан Кл1 відкривається. Крім цього поплавковий клапан ПК1 відкривається і за допомогою ежектора через фільтрувальне полотно освітлена вода повертається у систему. Після зневоднення

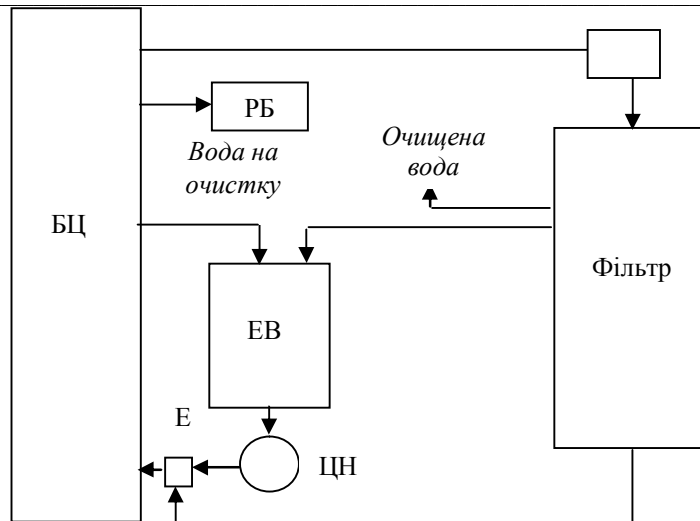


Рис. 1. Структурна схема СБВ:БЦ – батарея електрогідроциклонів; ЕВ – електролітична ванна; Е – ежектор; ЦН – відцентровий насос; РБ – розподільний бак

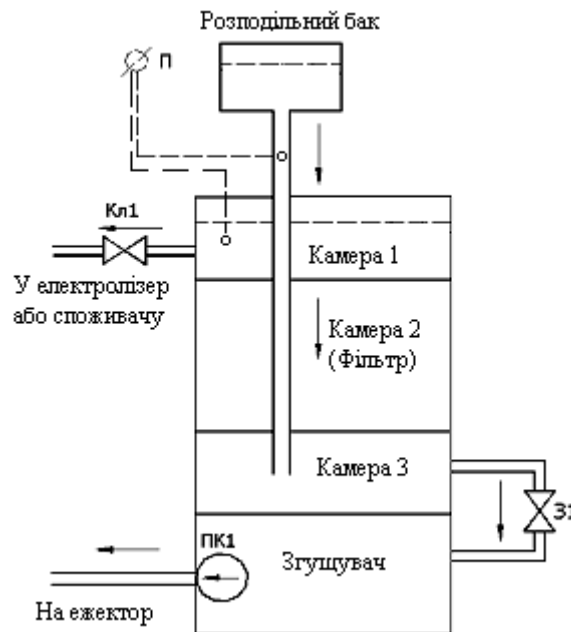


Рис. 2. Структурна схема фільтруючого елемента СБВ

Для дослідження об'єкта керування застосовували закон збереження, інтерпретований до об'єктів, що заповнюються рідиною [4]. Була визначена передаточна функція каналу керування "Рівень Н у камері 1 фільтра – зміна площі заслінки".

На підставі закону збереження:

$$S \frac{dH}{dt} = Q = Q_n - Q_v, \quad (1)$$

де Q_n – подача води до камери; Q_v – рідина яка забирається насосом; S – площа основи камери.

Нам відомо, що:

$$Q_n = S_1 \sqrt{\frac{2}{\rho J} \cdot (p_1 - p_e)} \quad (2)$$

де ρ - питома вага рідини; p_1 – тиск при подачі води до камери; p_e – тиск, що створюється водяним стовпом; J – коефіцієнт опору вхідного вентиля; S_1 – площа перерізу вентиля через, який подача йде рідини.

Тоді

$$S \frac{dH}{dt} = S_1 \sqrt{\frac{2}{\rho J} \cdot (p_1 - p_6)} - Q_6. \quad (3)$$

Після перетворень

$$W(p) = \frac{\Delta H(p)}{\Delta S_1(p)} = \frac{\sqrt{\frac{2}{\rho J} \cdot (p_1 - p_6)}}{Sp} = \frac{1}{Tp} \quad (4)$$

Отже, для зазначених умов динамічні властивості резервуара описуються інтегруючою ланкою.

Для каналу управління регулюючим органом є заслінка, вибрали тип 32с908р з характеристиками: допустима температура 50 °с; допустимий тиск 10 кгс/см²; діаметр диску 400 мм; час закриття 6 с.

Час закриття заслінки і буде сталою часу у каналі управління "Рівень Н у камері 1 фільтра – зміна площі заслінки"

Коефіцієнт підсилення (відношення витрати через заслінку до рівня у камері 1) становить:

$$K = 12,1 \text{ м}^3 \cdot \text{год/м}$$

Експериментально встановлено, що час чистого запізнення становить 1,1 секунди.

Отже, передаточна функція об'єкта керування у явному вигляді:

$$W(p) = \frac{12,1}{6p} \cdot e^{-1,1p}. \quad (5)$$

Для визначення алгоритму керування проаналізували співвідношення між сталою часу та часом запізнення об'єкта керування:

- якщо $2 \leq \tau/T \leq 1$ – рекомендується лінійний алгоритм керування;
- якщо $\tau/T > 1$ – імпульсний алгоритм керування;
- якщо $\tau/T < 0,2$ – позиційний алгоритм керування.

Для нашого об'єкта

$$\frac{\tau}{T} = \frac{1,1}{6} = 0,183 \quad (6)$$

Отже, алгоритм управління доцільно вибрати позиційним.

Сприймаючий елемент з динамічної точки зору є безінерційною ланкою (перетворювач КРТ-5):

$$W_{ce}(p) = K_{ce}. \quad (7)$$

Його коефіцієнт підсилення (відношення вихідної напруги до тиску):

$$K_{ce} = 0,1 \text{ В/Па}. \quad (8)$$

Звідси отримали наступну передаточну функцію сприймаючого елемента:

$$W_{ce}(p) = 0,1. \quad (9)$$

Передаточна функція виконавчого механізму (ИМ 2/120) – інерційна ланка першого порядку. Коефіцієнт передачі (відношення кута повороту до напруги): $K = 0,45$ град/В. Стала часу: $T = 6$ секунд. Тоді отримуємо передаточну функцію:

$$W(p) = \frac{0,45}{6p+1}. \quad (10)$$

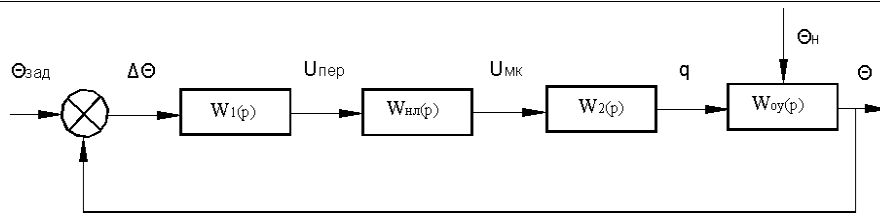


Рис. 3. Структурно-функціональна схема АСК:

$W_1(p)$ – передаточна функція перетворювача тиску: $W_1(p) = k_1$; $W_{н.л.}(p)$ – передаточна функція нелінійної ланки (статична характеристика цієї ланки є функція напруги мікропроцесора (MICROCHIP PIC16C72) від напруги на виході перетворювача); $W_2(p)$ – передаточна функція виконавчого механізму: $W_2(p) = k_2/(T_{вм}p+1)$; $W_0(p)$ – передаточна функція об'єкта керування: $W_0(p) = (k_0/T_0p) \cdot e^{-\tau p}$

Знайшли еквівалентну передаточну функцію всіх лінійних ланок системи:

$$W_n(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_{об}(p) = \frac{k_0 \cdot k_1 \cdot k_2}{T_0 p (T_{вм} p + 1)} \cdot e^{-\tau p} \quad (11)$$

У нашому випадку:

$$W_n(p) = \frac{0,545}{36p^2 + 6p} \cdot e^{-1,1p} \quad (12)$$

Звідси передаточна функція нелінійної частини:

$$W_{н.л.}(p) = q + \frac{q'}{\omega} p \quad (13)$$

Коефіцієнти гармонічної лінеаризації:

$$q = \frac{4l}{\pi a} \sqrt{1 - \frac{d^2}{a^2}}, \quad q' = -\frac{4ld}{\pi a^2} \quad (14)$$

Для наших умов: $d = 1$ вольт $l = 10$ вольт. Отже, матимемо:

$$W_{н.л.}(p) = \frac{12,7\sqrt{a^2 - 1}}{a^2} - \frac{12,7}{a^2 \omega} p \quad (15)$$

Знайшли значення реальної і уявної частини $W_n(j\omega)$ при різних значеннях ω . Також змінюючи значення a , отримали координати частотної характеристики нелінійної частини. У нелінійній частині отримали: $\text{Im}_{н.л.}(a) = \text{const} = -0,003$. Координати частотних характеристик нелінійної частини (рис. 4):

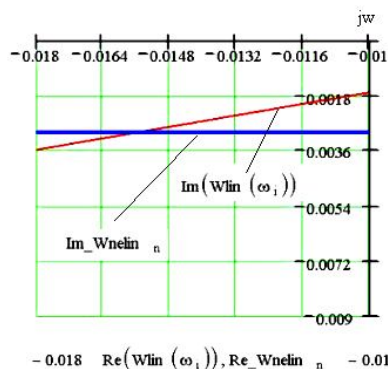


Рис. 4. Графіки функцій $W_n(j\omega)$ та $-1/W_{н.л.}(j\omega)$.

Точка перетину кривих знаходиться на частоті $\omega \approx 0,08 \text{ с}^{-1}$. Амплітуда дорівнює: $a = 2 \text{ В}$. Отримані автоколивання стійкі, оскільки годограф лінійної частини охоплює значення амплітуди менші, ніж значення амплітуди автоколивань.рім проведених розрахунків, впевнились у тому, що сам об'єкт є фільтром нижчих частот.

$\text{Im}(W_{\text{lin}}(\omega_i)) =$	$\text{Re}(W_{\text{lin}}(\omega_i)) =$
-4.95	-0.495
-0.25	-0.25
-0.05	-0.1
$-3.846 \cdot 10^{-3}$	-0.019
$-4.95 \cdot 10^{-4}$	$-4.95 \cdot 10^{-3}$
$-6.234 \cdot 10^{-5}$	$-1.247 \cdot 10^{-3}$

(16)

Для цього побудували амплітудно-частотну характеристику лінійної частини:

$$A(\omega) := \sqrt{(\text{Re}(W_{\text{lin}}(\omega)))^2 + (\text{Im}(W_{\text{lin}}(\omega)))^2}$$

$$A(\omega) = \begin{pmatrix} 0.354 \\ 0.02 \\ 4.975 \times 10^{-3} \\ 2.217 \times 10^{-3} \\ 1.248 \times 10^{-3} \\ 1.248 \times 10^{-3} \end{pmatrix} \quad (17)$$

При $\omega = 1,5 \text{ с}^{-1}$ значення амплітуди приблизно на порядок менше, ніж при частоті автоколивань $\omega = 0,08 \text{ с}^{-1}$. Тому всі частоти крім першої, не будуть проходити через лінійну частину автоматичної системи. Надійність функціонування окремих елементів всієї системи САК промивкою фільтра СБВ регламентується згідно ГОСТ 27.002-89 "Надійність в техніці, терміни и определения". Встановивши паспортні дані, результуюча інтенсивність відмови всіх елементів:

$$\lambda_p = (5,2 + 4,5 + 0,5 + 0,1) \cdot 10^{-6} = 1,03 \cdot 10^{-5}, \text{ год}^{-1}. \quad (18)$$

Термін експлуатації системи візьмемо 8000 год. Годі результуюча ймовірність безвідмовної роботи системи визначимо з формули:

$$P(t) = e^{-2 \cdot 1,03 \cdot 10^{-5}} = 0,848 \quad (19)$$

Така надійність роботи системи протягом 8000 год нас влаштовує, оскільки, враховуючи режим роботи промислових об'єктів (гальвановиробництво, свинокомплекси, тощо) цей термін становитиме більше 3,5 років. Впроваджена САК дала можливість: зменшити витрати води (біля 5%), внаслідок використання алгоритму та технічних засобів системи при оцінці моменту та необхідного промивного об'єму; звести до мінімуму затрат людської праці при протіканні технологічного процесу; підвищити адаптивність СБВ до зміни якості вхідної води.

Висновки

1. Сучасні, у тому числі закордонні, схеми та обладнання систем комунально-виробничого водопостачання та водопідготовки не є екологічно безпечними та ресурсо- і енергоефективними з причин не здатності протидіяти коливанням концентрацій шкідливих речовин невідомих до певного часу людині в джерелі води в наслідок надзвичайних ситуацій.
2. Розроблена САК промивкою фільтра СБВ забезпечує технологічні потреби та задовольняє вимоги стійкості та функціональної надійності (результуюча ймовірність безвідмовної роботи системи – 0,848).

1. Гончаров Ф.І. Енерго- та ресурсозберігаюча схема системи водопостачання населених пунктів / Ф.І. Гончаров, В.М. Штепа // Наукові нотатки Луцького національного технічного університету. – Луцьк: ЛНТУ. – 2009. – С. 49-54.
2. Гончаров Ф.І. Мікропроцесорний пристрій удосконалення схеми внутрішньої мережі систем водопостачання / Ф.І. Гончаров, В.М. Штепа // Праці Луганського відділення Міжнародної академії інформатизації. – Луганськ: МАІ. – 2009. – № 2 (19). – Ч.1 – С. 43-46.
3. Гончаров Ф.І. Патент України № 22010, Автоматична насосна станція. – К.: Державне патентне відомство, 1998 – 4 с.
4. Штепа В.М. Аналітичне моделювання як об'єкта керування резервуара для змішування стічних вод птахофабрики та гіпохлоритних розчинів отриманих електролізом // Науковий вісник Національного аграрного університету. – К.: НАУ. – 2007. – Вип. 115. – С.109-112.
5. Смирнов Д.Н. Автоматизация процессов очистки сточных вод химической промышленности / Д.Н. Смирнов, Дмитриев А.С. – Л.: Химия, 1981 – 200 с.