

Филипчук Л. В., к.т.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМ ВОДОПІДГОТОВКИ В ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЦІ

Обґрунтовано необхідність автоматизації систем підготовки води для котельних установок, що дозволяє отримати високу якість очищення води, зменшити кількість реагентів та вторинне забруднення води аніонами. Запропонована автоматизація процесу регенерації іонообмінних та пінополістирольних фільтрів при очищенні води від заліза та солей жорсткості. Для попередження вторинного забруднення води рекомендуються електрохімічні методи очищення води, зокрема електрокоагуляція та електрохімічне регулювання рН в діафрагмовому електролізері. Регулювання параметрами очищення відбувається автоматично за рахунок зміни величини постійного електричного струму в залежності від параметрів води. Для забезпечення точності у регулюванні рН та уникнення передозування реагентів рекомендується система автоматичного регулювання рН з нечітким регулятором. Результати моделювання показали, що при використанні САР з нечітким регулятором час регулювання зменшився вдвічі у порівнянні з САР із використанням ПІД-регулятора.

Ключові слова: системи підготовки води; котельні установки; пом'якшення та знезалізнення; електрохімічне регулювання рН; нечіткі регулятори.

Вступ. Якісна підготовка води для котельних установок має суттєве значення для надійної і ефективної роботи систем теплозабезпечення соціальної інфраструктури. Насамперед це стосується споруд для пом'якшення і знезалізнення води. Вода, яка подається для підживлення водяних котлів, повинна мати загальну жорсткість не більше 0,1–0,7 мг-екв/л, а парових – не більше 0,01–0,04 мг-екв/л, заліза – не більше 0,1–0,3 мг/л. Обмежується також наявність зависі, мінералізації води та вміст аніонів (сульфатів, хлоридів, нітратів, кремнію тощо) [1; 2]. Перевищення встановлених концентрацій може викликати утворення осаду у трубопроводах,

відкладення солей жорсткості на внутрішніх поверхнях обладнання, призводить до корозії обладнання, підвищення теплових втрат на підігрів води. Зазначені процеси відбуваються внаслідок передозування хімічних реагентів, недотримання оптимальних параметрів очищення води, зокрема активної реакції рН, недосконаліми системами регенерації фільтрів. Тому застосування систем автоматизації у процесах підготовки води має суттєве значення для забезпечення якості підготовки води та підвищення її ефективності.

Мета роботи полягає в аналізі існуючого стану підготовки води для котельних установок та визначення напрямків її покращення.

Існуючий стан проблеми та напрямки її вирішення. Найбільш розповсюдженим методом зниження загальної жорсткості води є іонообмінний метод [2]. Для цього застосовують одно- або двоступеневе Na-катіонування води. Одноступеневе Na-катіонування води дозволяє отримати воду із залишковою жорсткістю до 0,1 мг-екв/л. Однак для отримання глибоко пом'якшеної води (із залишковою жорсткістю 0,01–0,02 мг-екв/л) потрібно значно збільшувати питому витрату кухонної солі на регенерацію іонообмінних фільтрів, при цьому необхідно вести старанний контроль за «проскакуванням» іонів жорсткості. У схемі двоступеневого Na-катіонування води надійно забезпечується залишкова жорсткість менше 0,01 мг-екв/л.

При необхідності регулювання лужності води та зниження її солевмісту використовують послідовне або паралельне H- та Na-катіонування. Найбільш широке розповсюдження знайшла схема H-катіонування з «голодною» регенерацією фільтрів та наступним Na-катіонуванням. Така схема дозволяє отримати жорсткість фільтрату до 0,1 мг-екв/л та забезпечити глибоке зниження лужності (до 0,3–0,4 мг-екв/л).

Енергозбереження під час підготовки води для котельних установок досягається за рахунок зниження витрат реагентів шляхом впровадження систем автоматизованої регенерації іонообмінних фільтрів, яка пропонується західними фірмами. Автоматизація процесу регенерації відбувається за допомогою програматорів, які можуть управляти цим процесом в залежності від об'єму профільтрованої води або тривалості фільтроциклу. Перевагою такої системи є автономність регенерації, яка відбувається без втручання обслуговуючого персоналу у процес

переключання режиму фільтрування на режим регенерації (та навпаки), а тільки готує регенераційний розчин реагентів необхідної концентрації.

Недоліком такого автоматизованого процесу регенерації є те, що відмивка іонообмінного матеріалу фільтрів після регенерації відбувається вихідною (непом'якшеною) водою, а не пом'якшеною водою, як це вимагають національні нормативні документи. Це знижує загальну іонообмінну здатність іонітів, вважаючи на те, що об'єм відмивочної води може досягати до 10–20% від загального об'єму профільтрованої води.

Тому більш доцільним є застосування автоматизованих систем регенерації, які дозволяють проводити відмивку іонообмінних фільтрів пом'якшеною водою. Такі системи розроблені і є конкурентоздатними для національних підприємств з точки зору енерго- і ресурсозбереження. Розроблено алгоритм такої регенерації фільтрів та підібране необхідне обладнання.

Значною проблемою при іонообмінному пом'якшенні води є наявність у вихідній воді надлишкових кількостей заліза, особливо при концентрації вище 2–5 мг/л. Залізо може «отруювати» іонообмінні матеріали, призводити до значного невідновлювального зниження обмінної ємності іонітів. Для знезалізнення води ефективним є застосування спрощеної або глибокої аерації з наступним фільтруванням через шар спіненої полістирольної засипки. Застосування пінополістирольних фільтрів дозволяє зменшити матеріалоємність та енергоємність роботи таких фільтрів у порівнянні з фільтрами з важким завантаженням за рахунок відмови від ємностей для зберігання чистої промивної води та промивних насосів [3].

Суттєвою перевагою пінополістирольних фільтрів є також можливість застосування гідроавтоматики для промивки фільтрів. Водночас при коливаннях показників якості вихідної води, концентрацій забруднень, необхідність очищення від інших завислих частинок параметрів фільтрування і промивки засипки може суттєво змінюватись. У цих випадках робота гідроавтоматики значно порушується, що призводить до зниження ефективності очищення. Для попередження таких негативних фільтрів пропонується система примусової промивки, яка включає використання промивного сифону малої висоти, пристрою для регулювання інтенсивності промивки, електромагнітного клапану та програматора, що керує

процесом промивки (рис. 1). Зокрема такі фільтри впроваджені на деяких підприємствах України та за кордоном [4].

У випадку значної жорсткості вихідної води більше 10–20 мг-екв/л (що визначається техніко-економічними розрахунками) доцільним є застосування реагентних методів пом'якшення, зокрема вапнування, вапняно-содового тощо. Ці методи мають перевагу при одночасній наявності органічних домішок та заліза у вихідній воді. У більшості випадків після введення реагентів проводиться попереднє вилучення зависі у прояснювачах із завислим шаром осаду і наступне фільтрування через пінополістирольні фільтри. Застосування автоматики у таких фільтрах дозволяє оптимізувати роботу технологічної схеми пом'якшення і значно зменшити витрати на експлуатацію обладнання.

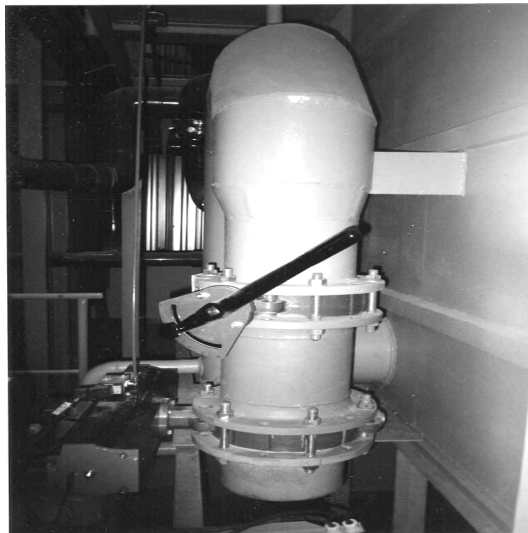


Рис. 1. Сифон малої висоти із електромагнітним клапаном для промивки пінополістирольного фільтра

Під час іонообмінного пом'якшення води кількість реагентів, що застосовується для регенерації, у 2,0–2,5 рази більше ніж кількість солей, що вилучається з води. Регенераційні розчини скидаються у каналізацію або безпосередньо у водоймища. Це має значний негативний вплив на довкілля. Крім того, при реагентному пом'якшенні у воду вводяться катіони та аніони реагентів, які залишаються в очищеній воді, що вкрай негативно впливає на її якість і вимушує у ряді випадків проводити додаткове знесолення.

Для зменшення кількості застосовуваних реагентів пропонується використання електрохімічних методів обробки води, при яких очищення стічних вод проводиться за рахунок зміни параметрів очищення під дією постійного електричного струму. У зв'язку зі значним подорожчанням за останні роки хімічних реагентів електрохімічні процеси є перспективним з точки зору запобігання вторинного іонного забруднення оброблюваної води.

Зокрема, доцільним є застосування електрохімічного уведення коагулюючих катіонів алюмінію або заліза. Цей процес, відомий як «електрокоагуляція», здійснюється в проточному електрореакторі шляхом іонізації (електрохімічного розчинення) металевих анодів під дією постійного електричного струму. Для електрохімічного пом'якшення води рекомендується застосування електрохімічної зміни величини рН у діафрагмовому електролізері, що повністю виключає використання хімічних реагентів [5]. Регулювання параметрами очищення відбувається автоматично тільки за рахунок зміни величини постійного електричного струму залежно від параметрів води, зокрема її мінералізації.

При реагентному попередньому очищенні або пом'якшенні води значну складність представляє регулювання величини активної реакції (рН), що обумовлюється значними коливаннями цих параметрів у вихідній воді та зміною складу забруднюючих компонентів. Внаслідок цього на очисних спорудах відбувається передозування реагентів, що призводить до зниження ступеня вилучення забруднюючих компонентів і вторинного забруднення очищеної стічної води мінеральними солями. Тому для забезпечення точності у регулюванні рН рекомендується система автоматичного дозування реагентів, в основу якої покладено застосування мікропроцесорних засобів автоматизації [6].

Оскільки для осадження домішок у більшості випадків потрібно підвищувати рН від 6,8–7,4 до величин 9,8–10,5, які знаходяться у перехідній області, то рекомендовано регулювання цього параметру у проточному змішувачі-реакторі, що розміщений перед фільтром, прояснювачем або флотатором, за пропорційно-інтегрально-диференціальним (ПІД) законом регулювання.

Основними критеріями вибору структури системи автоматичного регулювання (САР) процесу регулювання рН служать діапазони змін цієї величини у вхідній воді, динаміка цих змін, статична характеристика процесів нейтралізації та осадження домішок, діапазон коливань концентрацій реагенту, динамічна

характеристика об'єкту регулювання (змішувача-реактора з комунікаціями) і необхідна якість стабілізації рН стоків. Працездатна САР процесу очищення може бути побудована тільки з урахуванням всіх перерахованих чинників.

Для регулювання процесу зміни рН в проточних реакторах широко застосовують ПІ-регулятори. Проте їх можливості обмежені діапазоном зміни навантаження, а також динамікою збурень. При зміні параметрів води і використанні змішувача-реактора з несприятливою динамічною характеристикою рекомендують застосовувати ПІД-регулятор. Однак в умовах періодичної обробки води та багатокомпонентності її складу навіть одноконтурна САР з ПІД-регулятором не може забезпечити задану якість стабілізації рН [7].

Для забезпечення швидкого та ефективного проходження процесу автоматичного регулювання рН запропоновано використовувати САР з нечітким регулятором. Для порівняння даного регулятора (рис. 2) із найбільш розповсюдженим ПІД-регулятором проводилось моделювання САР. Проточний змішувач-реактор як об'єкт керування, після відповідних розрахунків, може бути представлений у вигляді аперіодичної ланки другого порядку із запізненням:

$$W_a(s) = \frac{0,989}{(2,75s + 1)(2,56s + 1)} e^{-3s}.$$

Моделювані САР містять однакові блоки з передаточними функціями, окрім блоків регуляторів.

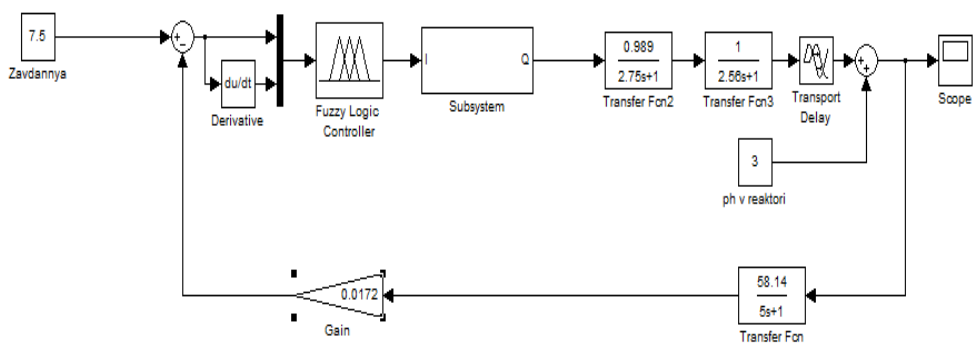


Рис. 2. Модель системи з нечітким регулятором в програмі Matlab

Результати моделювання показали (рис. 3), що при використанні САР з нечітким регулятором час регулювання зменшився вдвічі у порівнянні з САР із використанням ПІД-регулятора, що дозволяє зменшити витрату реагентів та прискорити процес виходу рН на необхідне значення.

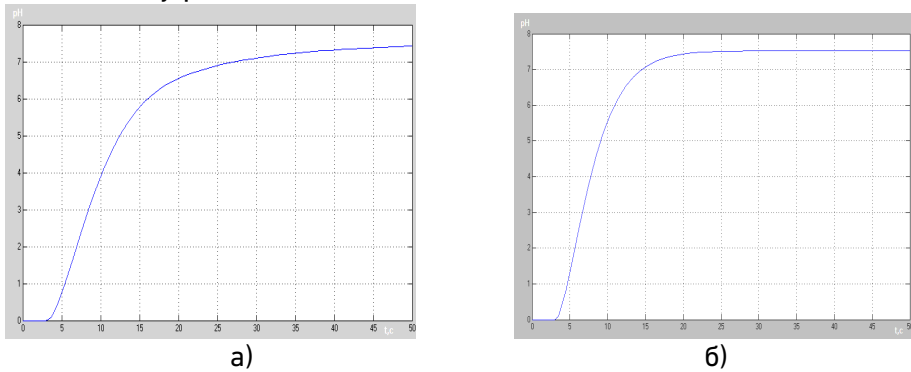


Рис. 3. Графіки перехідних процесів при моделюванні САР з ПІД-регулятором (а) та нечітким регулятором (б)

У зв'язку з цим в основі запропонованого алгоритму управління передбачається використання двох пов'язаних контурів регулювання з неперервними регуляторами на основі нечіткої логіки. В такій системі в режимі реального часу ведеться автоматичний контроль за вихідними значеннями параметру рН. Виміряні значення фазифікуються. На основі експертної інформації формується база знань, описуються лінгвістичні змінні. Блок логічних рішень здійснює процедуру нечіткого логічного висновку, в ході якого здійснюється композиція нечітких вихідних множин. Останнім етапом нечіткого управління є дефазифікація – перетворення нечітких даних у конкретні фізичні керуючі впливи, які служать уставками регуляторів. Алгоритм управління передбачає циклічне введення реагентів насосами-дозаторами з виділенням часу для стабілізації параметру рН [8].

Таким чином, застосування систем автоматизації для регулювання параметрами роботи очисних споруд та при введенні реагентів у технологічних схемах підготовки води для систем теплозабезпечення дозволяє отримати високу якість очищення води, зменшити кількість реагентів та вторинне забруднення води аніонами.

1. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди.
2. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления : справочник / Кострикин Ю. М. и др. М. : Энергоатомиздат, 1990. 254 с.
3. Орлов В. О. Водоочисні фільтри із зернистою засипкою. Рівне : РДТУ. 2005. 163 с.
4. Application of expanded polystyrene filter for tertiary treatment of domestic waste effluent in the UK / V. Fylypchuk, S. Induchny, P. Pearce, L. Fylypchuk, S. Martynov. *Journal of Water and Land Development*. 2017. Vol. 35. Issue 1. P. 41–47.
5. Fylypchuk V., Fylypchuk L. Electrochemical water softening in a diaphragm electrolyzer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Kharkiv : PC «Technology center», Ukrainian State University of Railway Transport, 2017. Vol. 2/6(86). P. 48–55.
6. Автоматизоване керування природоохоронними системами очищення металовмісних стічних вод : монографія / Филипчук В. Л., Древецький В. В., Филипчук Л. В., Клепач М. І. Рівне : Овід, 2017. 288 с.
7. Клепач М. І., Филипчук Л. В. Автоматизація процесу регулювання рН та Eh при очистці стічних вод від важких металів. *Сучасне забезпечення систем управління технічними комплексами* : матеріали наук.-техн. конфер. Київ : НУХТ. 26 листопада 2009. С. 109.
8. Филипчук В. Л., Клепач М. І., Филипчук Л. В. Спосіб автоматизації процесу регулювання величин рН та Eh багатокomпонентних стічних вод: пат. України на КМ № 65459, Бюл. № 23, 2011.

REFERENCES:

1. DBN V.2.5-74:2013. Vodopostachannia. Zovnishni merezhi ta sporudy.
2. Vodopodgotovka i vodniy rejim energoobektov nizkogo i srednego davleniya : spravochnik / Kostrikin YU. M. i dr. M. : Energoatomizdat, 1990. 254 s.
3. Orlov V. O. Vodoochysni filtry iz zernystoiu zasypkoiu. Rivne : RDTU. 2005. 163 s.
4. Application of expanded polystyrene filter for tertiary treatment of domestic waste effluent in the UK / V. Fylypchuk, S. Induchny, P. Pearce, L. Fylypchuk, S. Martynov. *Journal of Water and Land Development*. 2017. Vol. 35. Issue 1. P. 41–47.
5. Fylypchuk V., Fylypchuk L. Electrochemical water softening in a diaphragm electrolyzer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Kharkiv : PC «Technology center», Ukrainian State University of Railway Transport, 2017. Vol. 2/6(86). P. 48–55.
6. Avtomatyzovane keruvannia pryrodookhoronnykh systemamy ochyshchennia metalovmisnykh stichnykh vod : monohrafiia / Fylypchuk V. L., Drevetskyi V. V., Fylypchuk L. V., Klepach M. I. Rivne : Ovid, 2017. 288 s.
7. Klepach M. I., Fylypchuk L. V. Avtomatyzatsiia protsesu rehuliuвання rN ta Eh pry ochysttsi stichnykh vod vid vazhkykh metaliv. *Suchasne zabezpechennia system upravlinnia tekhnichnykh kompleksamy* : materialy nauk.-tekhn. konfer. Kyiv : NUKhT. 26 lystopada 2009. S. 109.
8. Fylypchuk V. L., Klepach M. I., Fylypchuk L. V. Sposib avtomatyzatsii protsesu rehuliuвання velychyn rN ta Eh bahatokomponentnykh stichnykh vod: pat. Ukrainy na KM № 65459, Biul. № 23, 2011.

Fylypchuk L. V., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor
(National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

AUTOMATION OF WATER TREATMENT SYSTEMS IN HEAT ENERGY

The necessity of automation of water treatment systems for boiler installations is substantiated, which is essential for reliable and efficient operation of heat supply systems of social infrastructure. Automation of the process of regeneration of ion exchange and expanded polystyrene filters in the purification of water from iron and hardness salts using siphons, programmers and electric valves is proposed. To prevent secondary contamination of water with salts, electrochemical methods of water purification are recommended, in particular electrocoagulation and electrochemical pH adjustment in a diaphragm cell, which completely eliminates the use of chemical reagents. The purification parameters are regulated automatically only by changing the value of direct electric current depending on the parameters of water, in particular its mineralization. The purification parameters are regulated automatically by changing the value of direct electric current depending on water parameters. To ensure accuracy in pH adjustment and to avoid overdose of reagents during the deposition of iron and hardness ions, an automatic pH adjustment system with a fuzzy regulator is recommended. The simulation results showed that when using SAR with fuzzy regulator, the control time was reduced by half compared to SAR with PID-regulator, which reduces the consumption of reagents and ensures the stability of the pH value. The control algorithm involves cyclic introduction of reagents by dosing pumps with the allocation of time to stabilize the pH parameter. The use of automation systems to control the parameters of treatment plants and the introduction of reagents in technological schemes of water treatment for heating systems allows to obtain high quality water treatment, reduce the number of reagents and prevent secondary contamination of water with soluble salts.

***Keywords:* water treatment systems, boiler plants, softening and deferrization, electrochemical regulation of pH, fuzzy regulators.**
