

О.А. ВАСИЛЕНКО, кандидат технічних наук  
Л.О. ВАСИЛЕНКО, кандидат технічних наук  
Київський національний університет будівництва і архітектури

## ГАЛЬВАНОКОАГУЛЯЦІЯ ЯК УНІВЕРСАЛЬНИЙ МЕТОД ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ВІД ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

*Здійснена загальна характеристика промивних стічних вод гальванічних виробництв. Наведений аналіз існуючих методів очистки промивних стічних вод, які містять іони важких металів. Зроблена порівняльна характеристика та наведені недоліки цих методів. Розглянут метод гальванокоагуляції. Запропонований інженерний розрахунок промислового фільтру для очищення стічних вод від іонів важких металів, в якому відбувається процес гальванокоагуляції.*

**Ключові слова:** стічні води, іони важких металів, гальванокоагуляція, фільтр, завантаження.

*Осуществлена общая характеристика промывных сточных вод гальванических производств. Приведен анализ существующих методов очистки промывных сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов. Дана сравнительная характеристика и приведены недостатки этих методов. Рассмотрен метод гальванокоагуляции. Предложен инженерный расчет промышленного фильтра для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов, в котором происходит процесс гальванокоагуляции.*

**Ключевые слова:** сточные воды, ионы тяжелых металлов, гальванокоагуляция, фильтр, загрузка.

*It implemented a general description of the washing waste water in electroplating. The analysis of existing methods of cleaning the wash wastewater containing heavy metal ions. The comparative characteristic and disadvantages of these methods are given. The method proposed galvanokoagulyatsyi engineering calculation of industrial filter for wastewater treatment from heavy metal ions, in which the galvanokoagulyatsii process.*

**Key words:** wastewater, heavy metal ions, galvanokoagulyatsii, filter loading.

Стічні води гальванічних виробництв складають від 30% до 50% загальної кількості стічних вод, які утворюються на машинобудівних підприємствах. В Україні, як і за її межами, стічні води гальванічних виробництв найбільш розповсюджені. Виробничі стічні води, забруднені кислотами, лугами та солями важких металів утворюються внаслідок хімічної та електрохімічної обробки металів та їх сплавів, а також при нанесенні

гальванічних покриттів. Гальванічні виробництва експлуатуються в Україні приблизно на 4000 підприємствах машинобудування, приладобудування, металообробки, чорної і кольорової металургії та інших галузей промисловості. Загальний об'єм стічних вод, що скидаються вказаними підприємствами, складає в Україні біля 500 млн. м<sup>3</sup> на рік.

Важкі метали та алюміній, мідь нікель, цинк в стічних водах гальванічного виробництва знаходяться в іонному стані [1, 2] і відповідно до запропонованої класифікації методів очищення води для їх видалення використовуються наступні принципи.

1. Переведення в малодисоційовані (нейтралізація, комплексоутворення) або малорозчинні сполуки (утворення солей, гідратів).

2. Фіксація на твердій фазі іонів, сепарація зміною фазового стану води (дистиляція, виморожування).

3. Перерозподіл іонів у рідкій фазі (екстракція, зворотний осмос), а також рухливість іонів в електричних і магнітних полях.

З позиції вирішення інженерних задач при розробці технологічних схем, методи видалення з води іонів важких металів конкретизуються за характером сил впливу на домішки [3, 4, 5]:

- хімічні методи;
- фізико-хімічні методи;
- фізичні методи.

Хімічні методи засновані на дії, на домішки об'ємних сил іонного і іонно-молекулярного впливу, що викликають структурно-хімічні зміни в водній системі (обробка реагентами, окисниками, комплексоутворювачами, осаджувачами і нейтралізують агентами, іонний обмін).

Фізико-хімічні методи засновані на дії на водну систему зовнішніх фізичних силових полів (акустичного, електричного, електромагнітного, теплового), що викликають структурно-хімічні зміни в системі (електрокоагуляція, електрофорез, магнітна і ультразвукова обробка, виморожування і ін.).

Фізичні методи засновані на дії на водну систему зовнішніх фізичних сил (сили тиску, тепловий вплив) або внутрішніх поверхневих молекулярних сил, що призводять до видалення домішок без структурно хімічних змін в системі (гіперфільтрація, вакуумна відгонка, коагуляція, флокуляція, адсорбція, термічна відгонка) .

За способом очищення методи обробки можна об'єднати в групи: реагентні, сорбційні, електрохімічні, іонообмінні.

При проведенні досліджень процесів очищення стічних вод разом із вищезгаданими має місце протікання інших процесів і явищ, наявність яких може змінити ефективність очищення. Так, наприклад, при реагентній очистці протікають процеси коагуляції, іонний обмін супроводжується процесом сорбції, і в той же час деякі мінеральні сорбенти, при певних умовах, виявляють властивості іонів і т.д.

Аналіз літературних даних показав, що основними методами очищення стічних вод гальванічного виробництва від іонів важких металів, які знайшли найбільш широке застосування в промисловості, є реагентний і електрокоагуляційний. Однак використовувані в даний час технологічні рішення вимагають значної кількості реагентів або енергоносіїв, а також не дозволяють створити компактний блок очисних споруд і суттєво інтенсифікувати процес очищення. Найбільш сучасним методом очищення промивних стічних вод від важких металів і економічно вигідним є гальванокоагуляція [1,2]. Метод гальванокоагуляції дозволяє відмовитися від використання реагентів і тим самим виключити реагентне господарство, різко скоротити обсяг споруд з очищення води за рахунок утворення оксидних форм металів, що призводить до збільшення швидкості осадження, прибрати дефіцитні компоненти – листову сталь (характерно для методу електрокоагуляції).

Гальванокоагуляційний метод [1,2] очищення стічних вод від іонів важких металів, заснований на обробці води в полі безлічі короткозамкнених гальванопар.

Цей метод базується на виникненні коротко замкнутої гальванопари між елементами з різними електрохімічними потенціалами. Гальванокоагуляція вже використовується на деяких виробництвах. Запропоноване завантаження, в якому буде виникати процес гальванокоагуляції, складається з матеріалів які, в основному, використовують на виробництвах. Це зерна активованого вугілля, які у процесі гальванокоагуляції виступають в якості одного з елементів гальванопари та метал. Механізм процесу гальванокоагуляції відбувається під час контакту забруднених стічних вод з завантаженням. Цей процес відбувається на основі явища взаємодії речовин з різними електрохімічними потенціалами у електропровідному середовищі.

Речовини створюють короткозамкнену гальванопару, в якій в якості аноду виступає речовина з меншим електрохімічним потенціалом відносно до другої речовини – катоду.

Розглянемо хімізм процесу гальванокоагуляції. Через фільтр, який складається з пористого катоду, тобто активованого вугілля, з магнієвим анодом пропускається потік води, що необхідно очищувати. При проходженні води через пористе завантаження частки анодної речовини – магнію, стикаються з поверхнею активованого вугілля та розряджаються на ньому, відбувається електрохімічне окислення магнію.

Процес у гальванічного кола можна представити наступною схемою:

Анод – електроліт – катод, тобто  $Mg^{2+}$  – розчин  $Me^+$  – активоване вугілля.

Принципові його переваги перед традиційними реагентними очевидні: значне скорочення, або повна відмова, від використання хімічних реагентів; помітне зниження, а не підвищення солемісту і жорсткості в обробленій воді; незначне споживання електроенергії; хороша водовіддача осаду.

Результати експериментальних досліджень, які наведені в роботах автора [4, 5] дозволяють рекомендувати для реалізації процесу очистки – фільтрування через модифіковані завантаження.. У запропонованому фільтрі анод – магнієвий стержень. Стандартний електродний потенціал магнію  $E = -2,37$  В нижче, ніж електродний потенціал активованого вугілля  $E = -0,03$  В, що і складає умови для виникнення гальванопари.

Наведемо методику інженерного розрахунку таких фільтрів.

Для визначення необхідних параметрів фільтру (площа, об'єм), кількості магнієвих стержнів, їх маси та їх діаметру виконуємо наступні дії: приймаємо висоту фільтруючого шару  $H_{\phi} = 1,5$  м, швидкість фільтрування  $v_{\phi} = 5$  м/год, час контакту  $t_{\text{конт}} = 18$  хв (0,3 години) [12].

Обчислюємо площу фільтру:

$$S = \frac{Q \cdot t_{\text{конт}}}{H_{\phi}} = \frac{9 \cdot 0,3}{1,5} = 1,8 \text{ м}^2, \text{ або } S = \frac{Q}{v_{\phi}} = \frac{9}{5} = 1,8 \text{ м}^2.$$

Об'єм магнієвих стержнів до обсягу загрузки на  $1 \text{ м}^3$  повинен складати 0,007 (визначено експериментальними дослідженнями). Довжина стержня по відношенню до висоти загрузки приймається рівною 0,8 ( $l_{\text{Mg}}/H = 0,8$ ).

Враховуючи вищезазначене, визначимо об'єм магнієвих стержнів для проєктованого фільтру.

Отже, об'єм завантаження фільтру буде складати

$$W_{\phi} = S_{\phi} \cdot H_{\phi} = 1,8 \cdot 1,5 = 2,7 \text{ м}^3,$$

а об'єм магнієвих стержнів

$$W_{\text{Mg}} = W_{\phi} \cdot 0,007 = 2,7 \cdot 0,007 = 0,019 \text{ м}^3.$$

Приймаємо довжину стержня рівною  $l = 0,8 \cdot H_{\phi} = 0,8 \cdot 1,5 = 1,2$  м.

Для визначення кількості стержнів і їх діаметру необхідно прийняти розміри в плані фільтру кратним 0,3 м – максимальна відстань між стержнями, визначена в експериментальних дослідженнях. Приймаючи фільтр круглої форми, його діаметр буде

$$D_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,8}{3,14}} = 1,5 \text{ м}.$$

Таким чином кількість стержнів, розміщених по діаметру фільтру, буде

дорівнювати  $n = \frac{1,5}{0,3} = 5$  штук. По колу, яке знаходиться на відстані 0,5 м від

стінок фільтру, тобто  $d = 1,2$  м, повинно бути розташовано

$\frac{\pi d}{0,3} = \frac{3,14 \cdot 1,2}{0,3} = 12,5$  штук – приймаємо 12 шт., а на колі діаметром  $d = 1,5$  м – 6

шт.

Якщо прийняти фільтр прямокутної форми  $1,5 \times 1,5$ , кількість стержнів складатиме 19 штук. При кількості стержнів 19 штук і їх довжині 1,2 м – діаметр повинен бути

$$d_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{4W_{\text{Mg}}}{n\pi l}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,019}{19 \cdot 3,14 \cdot 1,2}} = 0,035 \text{ м} = 35 \text{ мм}.$$

Також можна визначити масу магнієвих стержнів на один фільтр, яка буде складати  $M_{Mg} = \rho \cdot W_{Mg} = 1744 \cdot 0,019 = 33$  кг.

У дослідах відношення площі магнієвих стержнів до площі фільтру складало  $\frac{S_{Mg}}{S_{\phi}} = 0,001$ .

В розрахунковому фільтрі прямокутної форми:

$$\frac{S_{Mg}}{S_{\phi}} = \frac{19 \cdot \frac{\pi d^2}{4}}{1,8} = \frac{19 \cdot 0,785 \cdot 0,016^2}{1,8} = 0,0021;$$

а в фільтрі круглої форми:  $\frac{S_{Mg}}{S_{\phi}} = \frac{12 \frac{\pi d^2}{4}}{1,8} = 0,001$ .

Таким чином можна розрахувати виробничий фільтр в якому відбувається процес гальванокоагуляції, для очищення промивних стічних вод, від іонів важких металів.

Наведена методика показує, що для здійснення процесу очищування промивних стічних від іонів важких металів можливо використовувати промислові напірні фільтри, які підлягають мінімальній реконструкції. Фільтр завантажується активованим вугіллям із розмірами гранул 0,5...0,6 мм на висоту  $H = 1,5$  м і в його завантаженні встановлюються магнієві стержні довжиною  $0,8H$  і діаметром, який розраховується. Ефект очистки при цьому складає 98...99%.

### Список літератури

1. Рязанцев А.А., Батаева А.А., Батаев В.Б., Тумурова Л.В. Гальванокоагуляционная очистка сточных вод // Химия в интересах устойчивого развития // 1996. 4, № 3. С. 233-241. рус.

2. Рязанцев А.А., Батаева А.А. Очистка сточных вод вспомогательных производств от ионов тяжелых металлов на предприятиях железнодорожного транспорта / Вопросы гидравлики, водоснабжения, водоотведения. Сборник научных трудов. Сибирский государственный университет путей сообщения. Новосибирск: Издательство СГУПС. 2001. С. 54-66.

3. Соколова Л.П., Кокорина Е.Б., Смурова Е.С. Гальванокоагуляционная очистка сточных вод на заводах обработки цветных металлов // Цветная металлургия, 1990. №9. С. 56-60.

4. Феофанов В.А., Жданович А.П., Луханин Б.С. Гальванокоагуляционная очистка сточных вод // Тр. института Казмеханообр. Алма-Ата. 1987. 70 с.

5. Василенко Л.А. Очистка хромсодержащих сточных вод „Коммунальное хозяйство городов” // Респ.меж.-вед. научн.-техн. сб. Вып.14. К.: Техника. 1998. С.69-71.

6. Василенко Л.А. Очистка сточных вод от хрома. „Коммунальное хозяйство городов” // Респ.меж.-вед. научн.-техн. сб. Вып.15. К.: Техника, 1998. С.56-57.

Стаття надійшла до редакції 5.12.16