

В.Л. Филипчук, О.С. Шаталов

*Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне***УСТАНОВКИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ТА БЕЗПЕКА ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

Наведено принцип дії та процеси, що відбуваються під час роботи установок для електрохімічного очищення стічних вод з використанням розчинних та нерозчинних електродів. Проаналізовано небезпечні чинники, які виникають при експлуатації установок, а також заходи і засоби їх безпечної експлуатації обслуговуючим персоналом.

Ключові слова: безпека, електрореактор, електроліз, заземлення, струм, флоатація, шкідливості.

Постановка проблеми

Протягом останніх років електрохімічні методи очищення набувають поширення. Це пояснюється значним подорожчанням хімічних реагентів; зниженням «вторинного» забруднення очищеної води аніонами та катіонами солей внаслідок відмови від використання хімічних реагентів; розширення можливості повторного використання очищеної води у виробництві, оскільки загальна мінералізація і особливо аніонний склад водної фази не тільки не змінюється, а у ряді випадків навіть зменшується; можливістю комплексного очищення мінералізованих багатокомпонентних стічних вод різних за якісно-кількісним складом за рахунок сорбції та співосадження домішок [1]. Ці чинники сприяють підвищенню енергоефективності та екологічної безпеки промислових підприємств, заощадженню ресурсів наслідок відмови від використання хімічних реагентів.

В той же час, питання безпечної експлуатації установок для електрохімічного очищення води в залежності від комплексного впливу на обслуговуючий персонал небезпечних та шкідливих чинників в літературі практично не розглядалися.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Найбільш поширеним методом електрохімічного очищення води є уведення у стічну воду коагулюючих катіонів алюмінію або заліза шляхом електролізу, який проводиться в електрохімічних ректорах (електрокоагуляторах). Цей процес, відомий як «електрокоагуляція», здійснюється шляхом іонізації (електрохімічного розчинення) металевих анодів під дією постійного електричного струму [2].

Іони металу при взаємодії з молекулами води утворюють гідроксиди, які мають підвищені сорбційні властивості до важких металів, органічних сполук та інших компонентів стічних вод, а також

сприяють вилученню аніонів хлору та сульфату (в середньому до 10-30 %) [3].

Оскільки залізни електроди вони іонізуються з утворенням двовалентного заліза, то електрокоагуляцію застосовують для відновлення такого токсичного компоненту, як шестивалентний хром, з одночасною коагуляцією інших забруднюючих домішок (нафтопродукти, мастила, поверхнево-активні речовини (ПАР), органічні домішки) [4,5].

Під час електролізу на катодах відбувається відновлення молекул води з утворенням бульбашок газоподібного водню та гідроксильних іонів, які сприяють підлужуванню стічної води, необхідного для осадження важких металів.

Окрім того, бульбашки водню контактують з утвореними гідроксидами металів і створюють з ними флотокомплекси, які спливають на поверхню стічної води. Це значно зменшує (у 2-3 рази) тривалість процесу відділення зависі від стічної води у порівнянні з відстоюванням, знижує вологість шламу до 89-92 %, змінює структуру шламу, який значно простіше зневоднюється на спеціальному обладнанні. Такий комплексний процес носить назву «електрокоагуляція-флоатація» [2,5].

У тому випадку, якщо в електрореакторі застосовуються нерозчинні електроди (графіт, платинірований метал, сталь з окисно-рутенієвим покриттям тощо), то відбувається тільки процес електрофлоатації зависі бульбашками водню, а також бульбашками кисню і частково хлору, які виділяються на нерозчинних анодах [6]. Такі апарати застосовують також для осадження важких металів на катодах [7].

При концентрації хлоридів у воді до 100 мг/л вихід струмом газоподібного хлору не перевищує 10-15 %, а при високих концентраціях хлоридів досягає значно більших величин. Електроліз розчинів хлористого натрію (кухонної солі) або безпосередньо води з нерозчинними анодами застосовується для отримання газоподібного хлору та гіпохлориту

натрію з метою знезараження природних і стічних вод [1].

Під час експлуатації установок для електрохімічного очищення води основними небезпечними чинниками є можливість ураження електричним струмом, виділення електролізних газів, в першу чергу хлору, утворення вибухопожежонебезпечних сумішей електролізних газів (водню) з повітрям та киснем, можливість утворення вторинних небезпечних речовин внаслідок взаємодії продуктів електролізу з компонентами стічних вод. Незважаючи на те, що наведені чинники є вкрай небезпечними для обслуговуючого персоналу, в літературі не проводився аналіз безпечної експлуатації обслуговуючим персоналом установок для електрохімічного очищення стічних вод.

Мета статті

Метою даної роботи є комплексний аналіз безпечної експлуатації установок для електрохімічного очищення стічних вод.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо дію основних небезпечних чинників на обслуговуючий персонал установок для електрохімічного очищення води та засоби й заходи захисту.

Електролізні гази. Під час електрофлотації величина газовиділення (q_0) на нерозчинних анодах може бути розрахована за формулою

$$q_0 = 3600 \frac{q_n I (273 + t)}{273 p_a Q}, \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (1)$$

де q_n – питоме газовиділення, $\text{м}^3/\text{Кл}$; I – сила струму, А ; p_a – атмосферний тиск, $\text{кгс}/\text{см}^2$; t – температура води, $^\circ\text{C}$; Q – витрата стічних вод, $\text{м}^3/\text{год}$.

Значення питомого виділення газоподібного хлору q_n , що є найбільш небезпечним, за нормальних умов в залежності від концентрації хлоридів у воді можуть бути прийняті за такими експериментальними даними (табл. 1).

Таблиця 1. Значення питомого газовиділення

Концентрація хлоридів, г/л	Питоме газовиділення, $\text{м}^3/\text{Кл}$
До 0,3	$0,137 \cdot 10^{-6}$
0,3-1	$0,130 \cdot 10^{-6}$
1-3	$0,124 \cdot 10^{-6}$
>3	$0,119 \cdot 10^{-6}$

При електрокоагуляції-флотації (електрофлотації) основним процесом на катодах є виділення водню, кількість якого визначається як

$$V_{H_2} = 0,419 \frac{I}{1000}, \text{ м}^3/\text{год}. \quad (2)$$

Найбільш небезпечним електролізним газом є хлор. Він важчий за повітря, але у суміші з ним може підніматись вгору. Безпосередній вплив хлору на

очисних спорудах може полягати в тому, що він має задушливу дію, а при поданні на вологі поверхні (слизові оболонки очей, носа і дихальні шляхи) – подразнюючу дію, оскільки розчиняючись у волозі утворює сильний окисник – хлорноватисту кислоту (гіпохлорит натрію)



До первинних запальних змін зазвичай додається вторинна інфекція. Гостре отруєння розвивається майже відразу. При вдиханні середніх і низьких концентрацій хлору з'являються тиск і біль у грудях, сухий кашель, прискорене дихання, різь в очах, сльозотеча. Можливі бронхопневмонія, токсичний набряк легень, депресивний стан. У легких випадках одужання настає через 3-7 діб. Як віддалені наслідки спостерігаються катарит верхніх дихальних шляхів, рецидивний бронхіт, пневмосклероз. Гранично допустима концентрація хлору в повітрі виробничих приміщень – $1 \text{ мг}/\text{м}^3$ [8].

Особливістю електролізного водню є те, що він легший за повітря в 14,5 разів, може утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям (при електрокоагуляції) та з киснем і повітрям (при електрофлотації) - так званий гримучий газ. Найбільшу вибухонебезпечність цей газ має при об'ємному відношенні водню і повітря наближено 2:5. Вибухонебезпечні концентрації водню з киснем виникають від 4 % до 96 % об'ємних, а при суміші з повітрям від 4 % до 75 % об'ємних [8].

Під час експлуатації на поверхні електролізера (електрокоагулятора) спостерігається накопичування значної кількості водню у вигляді великих бульбашок, оболонкою яких можуть служити ПАР та інші речовини. Тому біля електрокоагуляторів забороняється користування відкритим вогнем, паління цигарок, проведення електрозварювальних робіт, оскільки це може призвести до локальних мікровибухів. Внаслідок цього забороняється виконання електролізерів у напірному варіанті.

Профілактика отруєнь хлором, а також забезпечення вибухопожежобезпеки, в першу чергу, полягає у будівництві локальної (місцевої) вентиляції над поверхнею електрореактора (електролізера), який розміщується на висоті 50-60 см над його корпусом у вигляді зонти з витяжним трубопроводом, виведеним вище даху. Для зручності ремонту і обслуговування електрореактора зонти встановлюють рухомим з можливістю горизонтального повороту його за межі поверхні відсмоктування газу.

Оскільки при електрокоагуляції-флотації процес флотації завислих частинок відбувається газоподібним воднем, то шлам, який накопичується на поверхні флотатора, у своїй товщі також має бульбашки водню, які поступово виділяються у навколишнє середовище. Тому у приміщеннях необхідно

встановлювати загальну припливно-витяжну примусову вентиляцію з десятикратним обміном повітря.

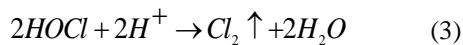
Окрім того, забороняється встановлення установок для електрохімічного очищення води у підвалах, на перших поверхах виробничих будівель, над якими розміщуються приміщення, де працюють люди, або знаходяться склади. Приміщення, де встановлені установки для електрохімічного очищення, з пожежовибухонебезпеки необхідно відносити до категорії В або Г [9].

Суттєвим небезпечним чинником при електрохімічному очищенні стічних вод є можливість утворення в очищеній воді *вторинних небезпечних продуктів*. У першу чергу, це зворотне окислення тривалентного хрому у шестивалентний, який має сильноокисні та канцерогенні властивості і відноситься до другого класу небезпеки [8], а також утворення газоподібного хлору.

Так, при змішуванні стічних вод, які пройшли обробку електрокоагуляцією для відновлення шестивалентного хрому, та стоків при очищенні електрофлотацією, під час якої у воді утворився гіпохлорит натрію внаслідок розчинення газоподібного хлору, можлива хімічна реакція окислення хрому(III) у хром(VI), особливо в лужному середовищі. Розрахунки показують, під час окислення хрому(III) концентрація хрому(VI) в очищеній стічній воді збільшується до 0,8-2,2 мг/л, що значно перевищує встановлені ліміти.

Для запобігання окисленню хрому(III) при змішуванні знешкоджених хромвмісних стічних вод та інших стоків з високими значеннями Eh потрібно проводити їх змішування перед відновленням хромвмісних стічних вод.

У свою чергу, при змішування очищених стічних вод, що вміщують залишковий гіпохлорит натрію із іншими кислими водами при рН менше 6,7 можливе виділення газоподібного хлору згідно реакції



у приміщенні очисних споруд з відповідними небажаними наслідками для обслуговуючого персоналу.

Важливим питанням у безпечній експлуатації установок для електрохімічного очищення води є *електробезпека*. Живлення електрореакторів в абсолютній більшості випадків відбувається постійним електричним струмом. Для випрямлення змінного струму застосовуються випрямлячі с повітряним або водяним охолодженням, реверсивні для ручної або автоматичної зміни полярності постійного струму, що подається до електрореакторів. Випрямлячі живляться змінним струмом 380 В, тому вони повинні розміщуватись в окремому приміщенні і з обов'язковим заземленням. Подача випрямленого струму

до електрореакторів повинна улаштовуватись за допомогою ізольованих кабелів.

Найбільш практичними межами параметрів електроструму, що встановлюються в електрореакторах, є напруга 5-12 В (при малій мінералізації води до 24 В) і величина струму 200-1200 А, що є небезпечними для обслуговуючого персоналу. Тому до роботи на таких водоочисних установках допускається персонал, що пройшов спеціальне навчання з правил обслуговування електроустановок.

Електролізери (електрокоагулятори) мають пакет електродів (при середній кількості 15-20 штук) з міжелектродним зазором не більше 10-12 мм, з'єднаних по монополярній схемі. До кожного з електродів під'єднаний окремий струмопідвід від загальних електрошин, виконаних у вигляді пластин із міді, алюмінію або заліза.

Основними проблемними питаннями з електробезпеки при експлуатації електрореакторів є можливість корозії струмопідводів і загальних електрошин, а також контакт електродів із корпусом електрореакторів, який як правило виготовлюється сталевим.

Для запобігання контакту внутрішня поверхня корпусу електрореакторів облицьовується пластинами із стійкого в агресивному середовищі діелектричного матеріалу (текстоліту, поліпропілену, вінілапласту). Конструкцією передбачають можливість заміни електродів, надійне кріплення у корпусі за допомогою пазів у ізолюючих пластинах та діелектричних вставках між електродами з метою запобігання короткого замикання по мірі зношення електродів.

Оскільки струмопідводи знаходяться у агресивному середовищі, то вони відповідним чином ізолюються і з метою багаторазового використання під'єднуються до електрошин за допомогою гнучкого багатожильного дроту і болтового з'єднання. Для унеможливлення значного нагріву шин та струмопідводів їх поперечний переріз розраховуються виходячи із допустимої щільності електричного струму. Щільність струму необхідно приймати для сталі 1,2, для алюмінію 2,0, для міді 3,0 А/мм².

Дискусійним залишається питання необхідності заземлення сталевого корпусу електрореактора і відповідно всього комплексу водоочисних модулів, яке як правило не робиться. На наш погляд, заземлення корпусу треба передбачати, оскільки при контакті електродів із металевим корпусом внаслідок корозії або руйнації струмопідводів можлива поява наруги на ньому, що є небезпечним чинником. Так, згідно з [10] у всіх вибухонебезпечних приміщеннях незалежно від значення напруги необхідно улаштувати заземлення електроустановок.

Окрім того, під час експлуатації електрореакторів можливий контакт обслуговуючого персоналу

із струмопідводами, внаслідок чого може виникнути петля струму «рука-рука» або «рука-нога, особливо у вологому приміщенні водоочисних установок, яке можна віднести до 1 категорії виробничих умов за рівнем електробезпеки.

Висновки

Таким чином, питання електробезпеки при експлуатації установок для електрохімічного очищення води є достатньо актуальними і потребують подальшого вивчення і дослідження, особливо у світлі поширення в останні роки їх популярності та вимог до підвищення екологічної безпеки промислових підприємств.

Автор: ФИЛИПЧУК Віктор Леонідович
доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри охорони праці і безпеки життєдіяльності
Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне
E-mail – elfi@snfokom.rv.ua

Автор: ШАТАЛОВ Олександр Сергійович
кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри охорони праці і безпеки життєдіяльності
Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне
E-mail – sh_as@i.ua

Література

1. *Рогов В.М., Филипчук В.Л. Электрохимическая технология изменения свойств воды.* – Львов: Вища школа, 1989. – 121 с.
2. *Гибкие автоматизированные гальванические линии: Справочник/В.Л. Зубченко, В.И. Захаров, В.М.Рогов и др.* – М. Машиностроение, 1989. – 672 с.
3. *Zacek L. Chemické a technologické procesy úpravy vod / L. Zacek – Brno : NOEL 2000, 1999. - s. 239.*
4. *Ajmal M. Studies on removal and recovery of Cr (VI) from electroplating wastes / M. Ajmal, A.K. Rafiqat, F.S. Bilquees // Water Research, 1996. – vol. 30, № 6. – P. 1478-1482.*
5. *Maly J. Cistení průmyslových odpadných vod / J. Maly, P. Hlavinec. – Brno : NOEL 2000, 1996. – 255 s.*
6. *Филипчук В.Л. Апарати для електрохімічного регулювання величинами рН і Eh при очистці металомістких багатокомпонентних стічних вод.// Наукові нотатки. Вип.10. – Луцьк: ЛДТУ, 2002. – С.208-220.*
7. *Njau N. Electrochemical removal of nickel ions from industrial wastewater /N. Njau, M.V. Woude, G.J. Visser // Chem. Eng., 2000. – J. 79. – P. 187–195.*
8. *Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці. – Вид. 2-е, Львів: Афіша, 2000. – 48 с.*
9. *НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпечністю.*
10. *Правила улаштування електроустановок. Вид. 3-тє, перероб. і доп. – 736 с.*

УСТАНОВКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД И БЕЗОПАСНОСТЬ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Приведен принцип действия и процессы, которые происходят во время работы установок для электрохимической очистки сточных вод с использованием растворимых и нерастворимых электродов. Проанализированы опасные факторы, которые возникают при эксплуатации установок, а также мероприятия и средства их безопасной эксплуатации обслуживающим персоналом.

Ключевые слова: *безопасность, электрореактор, электролиз, заземление, ток, флотация, вредности.*

DEVICES FOR ELECTROCHEMICAL WASTEWATER TREATMENT AND SAFETY OF ITS OPERATION

Shows the principle of operation and analysis of the processes that occur during operation of installations for the electrochemical treatment of wastewater. Processes of electrocoagulation, flotation, electrolysis of water using soluble and insoluble anodes are shown. The main factors that can be dangerous for staff are analyzed. The measures and methods for the safe operation of electrochemical devices: ventilation device for removal of electrolysis gases, chassis ground, preventing of mixing of treated wastewater containing toxic impurities are recommended.

Keywords: *security, elektroreaktor, electrolysis, grounding, current, flotation, the hazards.*