

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ



Всеукраїнська
науково-практична конференція

**Проблеми
техногенно-
екологічної
безпеки в сфері
цивільного захисту**

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

Харків
8-9 грудня 2022 року

Організаційний комітет

Голова організаційного комітету:

Садковий Володимир, доктор наук з державного управління, професор, Національний університет цивільного захисту України ДСНС (м. Харків).

Заступник голови організаційного комітету:

Андронов Володимир, доктор технічних наук, професор, Національний університет цивільного захисту України ДСНС (м. Харків).

Члени організаційного комітету:

Гурець Лариса, доктор технічних наук, професор, Сумський державний університет МОН України (м. Суми);

Козуля Тетяна, доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» МОН України (м. Харків);

Кондратенко Олександр, доктор технічних наук, доцент, Національний університет цивільного захисту України ДСНС (м. Харків);

Крот Ольга, доктор технічних наук, доцент, Харківський національний університет будівництва та архітектури МОН України (м. Харків);

Парсаданов Ігор, доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» МОН України (м. Харків);

Пономаренко Роман, доктор технічних наук, професор, Національний університет цивільного захисту України ДСНС (м. Харків);

Соловей Віктор, доктор технічних наук, професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет МОН України (м. Харків);

Строков Олександр, доктор технічних наук, професор, Класичний приватний університет (м. Запоріжжя);

Цибуля Сергій, доктор технічних наук, професор, Національний університет «Чернігівська політехніка» МОН України (м. Чернігів);

Шмандій Володимир, доктор технічних наук, професор, Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського МОН України (м. Кременчук);

Біловол Ганна, кандидат технічних наук, доцент, Український державний університет залізничного транспорту МОН України (м. Харків);

Колосков Володимир, кандидат технічних наук, доцент, Національний університет цивільного захисту України ДСНС (м. Харків);

Колоскова Ганна, кандидат технічних наук, доцент, Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» МОН України (м. Харків);

Лєвтерев Антон, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України (м. Харків);

Метельов Олександр, кандидат технічних наук, доцент, Національний університет цивільного захисту України ДСНС (м. Харків).

Відповідальний секретар:

Горносталь Стелла, кандидат технічних наук, доцент, Національний університет цивільного захисту України ДСНС (м. Харків).

Проблеми техногенно-екологічної безпеки в сфері цивільного захисту: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2022. – 257 с.

У збірник включено матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «**Проблеми техногенно-екологічної безпеки в сфері цивільного захисту**», яка відбулася в Національному університеті цивільного захисту України, за такими тематичними напрямками: актуальні питання оцінки параметрів екобезпечного стану компонентів навколишнього природного середовища, актуальні питання управління рівнем екологічної безпеки техногенних об'єктів, актуальні питання розробки та впровадження технологій захисту навколишнього середовища, інформаційні технології на захисті компонентів довкілля, соціально-економічні та правові аспекти захисту компонентів довкілля, захист компонентів довкілля при надзвичайних ситуаціях.

Укладачі не несуть відповідальності за зміст опублікованих матеріалів
Рекомендовано до друку вченою радою факультету техногенно-екологічної безпеки
(протокол № 5 від 23.11.2022 року).

<i>Трегубов Д.Г., Чиркіна М.А.</i> Очищення стічних вод об'ємним мікродуговим розрядом.....	155
<i>Третьякова Л.Д., Мітюк Л.О., Тупотіна Є.Д.</i> Модульні блоки зі стабілізованим мохом, як іноваційний спосіб очищення повітря.....	159
<i>Умеренкова К.Р., Левтєров А.М., Кондратенко О.М.</i> Визначення теплофізичних властивостей альтернативних моторних палив, як аспект екологізації двигунів внутрішнього згоряння.....	162
<i>Усачов Д.В.</i> Система операційних центрів, як новітній метод екологічного моніторингу надзвичайних ситуацій військового характеру.....	166
<i>Худоярова О.С.</i> Комплексна стратегія підвищення екологічної безпеки від забруднення довкілля високотоксичними стоками.....	169

Інформаційні технології на захисті компонентів довкілля

<i>Горносталь С.А., Горбань Д.Г., Молчан А.П.</i> Використання інформаційних технологій для дослідження якості біологічного очищення стічних вод.....	172
<i>Захарченко Ю.В.</i> Особливості оперативного моніторингу екологічної обстановки в районі надзвичайної ситуації за допомогою безпілотних літальних апаратів.....	175
<i>Козуля М.М., Борзова Є.С.</i> Розробка інформаційно-програмного додатка для забезпечення якісного лабораторного контролю стану здоров'я людини.....	178
<i>Козуля Т.В., Коришунів С.Є.</i> Системологічні аспекти розробки інформаційного забезпечення комплексної оцінки впливу на довкілля АЗС.....	182
<i>Комяк В.М.</i> Застосування організаційно-технічних методів аварійного порятунку населення із зони надзвичайної ситуації у процесах попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій.....	187

Соціально-економічні та правові аспекти захисту компонентів довкілля

<i>Бєлошанка Т.В.</i> Сучасний стан публічного управління в сфері екологічної безпеки України.....	190
<i>Демків А.М., Пруський А.В., Скоробагатько Т.М., Тищенко В.О.</i> Актуальні питання щодо екологічного стану України в умовах війни.....	194
<i>Єлізаров О.В.</i> Соціально-економічні та промислові аспекти екологічної безпеки.....	197
<i>Замрозович-Шадріна С.Р.</i> Можливості використання інформаційних технологій в сфері захисту довкілля в Україні.....	200

УДК 628.543: 541.11

ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ОБ'ЄМНИМ МІКРОДУГОВИМ РОЗРЯДОМТрегубов Д.Г.¹, к.т.н., доц.; Чиркіна М.А.¹, к.т.н., доц.¹Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

Промислове виробництво супроводжується утворенням забруднених стічних вод, що вимагає їх очищення. До значно забруднених належать води металургійного, коксохімічного (КХВ) та гальванічного виробництв (ГВ), які містять різноманітні домішки, у тому числі іони важких металів та бенз(а)пірен. За наявності, на виробництві оборотного водопостачання вимоги до очищення пом'якшуються. Але стандартні технології видаляють важкі метали з одночасним підвищенням солевмісту води. Кінцевим водоочищенням на даний час є біохімічна обробка, але вона вимагає глибокого попереднього очищення від сполук, які пригнічують життєдіяльність мікроорганізмів: фенолів, роданідів, смол, масел, бенз(а)пірену та ін.

Широкий вплив на водні розчини та просту технологію мають електрохімічні методи: електроліз, -діаліз, -флотація, -коагуляція та електророзряд. Електроліз формує електричне поле, викликає реакції на межі електрод-електроліт та прямий вплив на домішки, створює сукупність активних продуктів електродних реакцій. Електрична енергія вводиться безпосередньо у оброблюваний об'єм з дисипацією у вигляді енергії хімічних реакцій або руху частинок. При цьому можливі повна або часткова відмова від додавання хімічних реагентів і безперервність обробки. За умови комплексного електричного впливу є можливість очищувати стічні води різного складу до ХПК $100 \text{ мгО}_2 \cdot \text{дм}^{-3}$ [1] без збільшення солевмісту.

Стічні води ГВ містять з'єднання важких металів (Cr(VI), Cr(III) та ін.) до $100 \text{ мг} \cdot \text{дм}^{-3}$. Їх видаляють електрохімічними або реагентними методами [2]. Ефективність електрохімічного впливу залежить від матеріалу та форми аноду. Активізацію анодних процесів досягають за розвитку його поверхні у вигляді насипного аноду у сітці або з заповненням зернистим електродом простору між фіксованими електродами (кожна частинка виступає і як анод, і як катод) [3, 5].

Ефективні коагулянти у вигляді гідроксидів отримують електрохімічним розчиненням аноду з заліза або алюмінію з наступною коагуляцією забруднень в іншій камері [4, 6]. Досягається більший вихід коагулянту за током ніж за електролізу, немає пасивації й зашламлення анодів, можливо розчиняти металеві відходи. Але отримання $\text{Fe}(\text{OH})_2$ електролізом сольового розчину триває до 12 год., а окрема стадія коагуляції не залучає на очищення інші електрохімічні ефекти.

Гальванокоагуляція з короткозамкненим гальванічним елементом залізо-металургійний кокс, де анодом є речовина з меншим електрохімічним потенціалом, відновлює Cr(VI) до Cr(III) з наступним співосадженням гідроксидів Cr(III) і Fe(II) й утворенням феритів. Така технологія спрощує електроживлення й знижує енерговитрати у 10 разів до $0,5 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot \text{м}^{-3}$. Процес триває у широкому діапазоні рН та температур. Осад, що утворюється, легко відділяється. Однак потрібна глибина очищення досягається лише за значних розмірів апаратів через повільність електрохімічних реакцій та неоднорідності сили струму в об'ємному електроді.

У практиці частіше застосовують бездіафрагмовий електроліз на нерозчинних електродах у присутності хлор-іонів (NaCl з низькими концентраціями). При цьому розчин насичується гіпохлоритом та Cl_2 , E_h розчину зростає до 1000 мВ. Але графітові електроди мають збільшену поруватість та робочу поверхню, що гальмує вихід хлору за струмом та збільшує вихід кисню. При розчиненні залізних

анодів за таких умов E_h може знизитись до -800 мВ за рахунок іонів Fe(II). Це дозволяє відновлювати Cr(VI) у стічних водах [4, 5], при цьому рН змінюється на 0,1–0,5. В електролізерах з розчинними анодами рН зростає до 10 за енерговитрат 2000 Кл/дм³. За хлорування стічних вод небезпечно утворенням хлорорганіки.

За більшої сили струму у насипному електроді утворюються мікророзряди (з температурою до 5000 °С та тиском до 100 МПа) у місцях контакту частинок за рахунок перегрівання. Виникає мікрогазовий пухирець, де і триває електророзряд. Гідравлічний удар біля зони розряду відштовхує частинки, тому ланцюг найменшого опору розривається і мікророзряд у даній точці зникає, але водночас виникає наступний ланцюг найменшого опору з послідовності електропровідних частинок та мікророзрядів. Енергія джерела живлення розподіляється між ланцюгом найменшого опору та струмом повз мікродуг [7]. Більш інтенсивне введення енергії в робочій простір дозволяє зменшувати розміри апаратів.

Канал електророзряду складається з зони самого каналу, катодної та анодної області, де мають місце різні фізико-хімічні процеси. До катоду рухаються катіони, до аноду – швидкі електрони. У стінках каналу має місце бомбардування розчину активними частинками. За температури каналу відбувається деструкція молекул до простих сполук, іонів та вільних радикалів (до 95% енергії переходить у теплову, до 20 % – на механічну роботу, до 10 % – випромінюється) [8]. Формується комплекс фізичного і хімічного впливів на забруднення стічної води внаслідок електрохімічної та мікродугової дії. Продукти плазмохімічних реакцій «заморожуються» у воді. Випромінювання у різних діапазонах ініціює рідкофазні реакції, утворюються окисники, радикали та зона стиснення. Електричний розряд знезаражує воду, сприяє процесам коагуляції та окисненню органічних сполук. Однак мікророзряд має крапкову дію, що робить рівномірний вплив неможливим. Тому ефективне очищення стічних вод може бути досягнуто за використання усього комплексу впливів: плазмохімічне і рідкофазне окиснення, адсорбція, коагуляція, фотоліз. Досягається руйнування органічних сполук, утворення активних окисників і молекулярних уламків, що вступають у вторинні реакції з утворенням нетоксичних сполук, аж до CO₂, сульфатів, азоту і води. Джерелом активних елементів є вода, яка у розряді розкладається до атомарних кисню та гідрогену. За використання коксового об'ємного електроду для мікродугового впливу на органічні сполуки стічних вод до цих механізмів додається адсорбція на дисперсному карбоні, що утворюється за руйнування рухомих електродів. У випадку об'ємного електроду з металевих частинок коагуляція ініціюється за менших питомих витрат внаслідок більшої електропровідності металу й менших втрат на побічний струм у середовищі стічної води. Ерозія металевих електродів виникає за меншої потужності мікророзряду з насиченням води великою кількістю дрібнодисперсних частинок металу та наступним утворенням коагулянту. Наночастинки гідроксидів металів активно сорбують інші молекули з утворенням міцних сольватних комплексів. Але при цьому не досягається видалення органічних сполук.

Електророзрядна ерозія електродів викликає емісію у воду частинок матеріалу електроду (карбон або краплі заліза) розміром 0,01–50 мкм зі швидкістю до 1000 м/с. У воді відбувається їх миттєве «заморожування» зі швидкістю до 10⁷ К/с [2] з формуванням нанокластерів (високотемпературне та плазмене випаровування з наступним різким охолодженням є методами отримання кластерів). Так, α-Fe має ОЦК-гратки з кластером октаедричної або тетраедричної будови [9], де можуть адсорбуватись деякі інші атоми. У мікророзрядах формуються гратки з підвищеною концентрацією дефектів до 10¹⁴ на мм², що наближає структуру поверхні частинки до аморфної. Частинки заліза до 0,1 мкм є повністю аморфними з

розвинутою поверхнею та незкомпенсованими зв'язками, що збільшує реакційну здатність. Тому дія плазми мікророзряду сприяє відновленню Cr(VI) до Cr(III), оскільки утворюються найпростіші та найактивніші відновники: сольватовані електрони (незв'язаний електрон є найменшим аніоном з найбільшим стандартним електродним потенціалом – 2,7 В), радикали $\text{H}\cdot$ та $\text{OH}\cdot$.

Головним механізмом мікродугового очищення стічних вод стає утворення під дією мікродуг сорбенту. Наночастинки карбону виникають безпосередньо у плазмі розряду [7], а гідроксиди металів – внаслідок реакції мікрочастинок металу з водяною парою у оболонці мікродуги де температура перевищує 570 °С [2]. Але аморфна наночастинка з будовою кластеру здатна до такої реакції й за температур стічної води. Наявність у стічній воді кисню сприяє утворенню гідроокису заліза (III). Мікродуги меншої потужності формують більш дисперсний стан металу та більш активно формують коагулянт з іонообмінними властивостями.

Досліджено [2, 7] обробку стічних вод мікророзрядами з напругою до 1000 В, що дозволяє досягти великої густини потужності та керувати цим параметром. Ефективність обробки залежить від напрямку електричного струму та потоку води. Мікророзряди виникають й за мережевої напруги. Але при цьому діють різнополярні імпульси, що вилучає з обробки багато електрохімічних ефектів. Для ініціації мікророзрядів амплітуда електричної напруги повинна бути пропорційною до міжелектродного простору з об'ємним електродом. За випрямлення мережевої напруги виникають уніполярні імпульси з частотою 100 Гц. При цьому у різні моменти часу на систему діє напруга різної амплітуди, мікророзряди виникають лише на екстремумі, тому наявні електрохімічні процеси різного характеру та інтенсивності. Виникає потреба у зменшенні низьковольтних впливів, що можна досягти за випрямленої напруги без коливань, за розряду електричної ємності, за допомогою тиристорної схеми з «вирізанням» середньої частини мережевої напівхвилі.

Ефективність такого очищення води залежить від енергоємності формування розряду. Тоді необхідно провести добір технологічних і електричних характеристик системи, властивостей електродів і геометрії реактора для заданого режиму обробки. За короткого імпульсу напруги з великою амплітудою зростає кількість мікродуг, реакційна поверхня та плазмохімічний об'єм. Підведена енергія розподіляється пропорційно електричним опорам у системі «об'ємний електрод–мікродуга–стічна вода». Генерація мікродуг у стічній воді стає можливою за питомого електроопору сухого об'ємного електроду до 0,2 Ом·м [10]. Застосування більш електропровідних коксів фракції 5–7 мм, з питомим електроопором об'ємного електроду до 0,06 Ом·м, знижує втрати потужності на утворення мікродугового розряду до 7 % та підвищити ступінь видалення роданідів до 97 % за їх вмісту до 1 г/дм³. Питома електрична потужність початку генерації мікророзряду в імпульсному режимі – 1,6 Вт/см³, для змінного та постійного струмів – 13 і 16 Вт/см³, тобто знижується у 8–10 разів.

Ефективна мікродугова обробка з меншими енерговитратами досягається за параметрів імпульсу: напруга до 1000 В, частота до 500 Гц, тривалість 0,1–0,4 мс. Збільшення напруги на електродах на 25 % підвищує глибину очищення у 2 рази. Це інтенсифікує утворення дисперсного сорбенту, піроліз у мікророзрядах, наступні окисні процеси. Збільшення частоти імпульсів покращує рівномірність обробки. Збільшення ширини електродів за тієї ж потужності в імпульсі підвищує кількість паралельних ланцюгів мікророзрядів та зменшує потужність одного мікророзряду, а з певного моменту й рівномірність утворення сорбенту. За зміни швидкості потоку виявлено два механізми очищення: 1) інтенсивність деструкції домішок у мікророзрядах зменшується зі зростанням швидкості потоку, оскільки меншає

кількість мікродуг на одиницю кількості оброблюваної води; 2) поки сорбент утворюється у надлишку, прискорення потоку підвищує ефективність очищення; більша швидкість викликає його нестачу і ефективність обробки знижується.

Використання комплексу впливів підвищує глибину очищення води і зменшує енерговитрати [2, 7]: видалення зі стічної води важких металів у мікродуговому режимі з використанням коагуляції досягається за потужності 4,5–6,5 Вт/см³, витрат енергії 2–2,5 кВт/м³ та інтенсивності очищення 1 м³/год. Феноли та роданіди електрокоагуляція не видаляє, тому їх вилучення здійснювали з об'ємним електродом з металургійного коксу фракції 7–10 мм. Рівномірний вплив на забруднення стічної води створює дрібнодисперсний карбон розміром до 5 мкм, що утворюється під дією мікророзрядів та адсорбує органічні домішки. Недоліком такої обробки є тривале відстоювання утвореної суспензії. З досліджених речовин повільніше видаляються роданіди (ступінь очищення до 97 %), оскільки коагуляції або адсорбції за даних умов вони не піддаються. Для видалення органічних сполук та роданидів зі стічної води необхідно до реактору з об'ємним електродом підводити потужність в режимі мікродугового впливу 2–3 Вт/см³, що визначає витрату енергії на ефективне очищення 20 кВт/м³ (або 10 кВт/м³ у разі доочищення води після заводської біохімічної установки) з інтенсивністю очищення 0,15 м³/год.

Раціонально проводити мікродугове знешкодження стічних вод з вмістом хрому до 40 мг/дм³ з глибиною очищення до 0,4 мг/дм³, але у деяких випадках необхідне доочищення. Раціонально проводити мікродугове очищення стічних вод з вмістом фенолів до 500 мг/дм³ та роданидів до 600 мг/дм³ з глибиною очищення за ХПК до 20 мг/дм³. Суттєве зниження ефективності видалення фенолів спостерігається за їх вихідної концентрації менше 20 мг/дм³, а роданидів – менше 200 мг/дм³. Процес видалення органічних сполук протікає найбільш ефективно за питомої витраті потужності близько 2 Вт/см³, роданидів – 2,6–2,9 Вт/см³.

ЛІТЕРАТУРА

1. Beigeldrud G.M. Treatment of coking byproduct processing waste-water. *Koks i Khimiya*. 1996. №3. P. 32–33.
2. Глупак А.Н. Дослідження процесу електроімпульсного очищення хромвмісних стічних вод. *Науковий вісник будівництва*. 2000. №19. С. 213–217.
3. Слободської С. О., Шульга К. І. та ін. Визначення перспективних способів очищення стічних вод КХВ. *УглеХимический журнал*. 2009. № 3-4. С. 88–92.
4. Василенко О., Василенко Л. Гальванокоагуляція як універсальний метод очищення стічних вод від іонів важких металів. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2017. №28. С. 48–52.
5. Кирилюк, С. В. Очищення стічних вод гальванічного виробництва у комбінованій системі: дис. ...канд. техн. наук: 05.17.21. Рівне, 2017. 206 с.
6. Шестопалов О.В., Чиркіна М.А. та ін. Охорона навколишнього середовища від забруднення нафтопродуктами. Харків: НТУ «ХПІ», 2015. 116 с.
7. Tregubov D., Slobodskoj S. The study of microarc discharge electric characteristics in wastewater treatment. *Koks i Khimiya*. 1997. №9. P. 32–34.
8. Вінніков Д. В. Електрофізичний вплив підводного іскрового розряду на процеси обробки речовин: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.09.13. Харків, 2017. 24 с.
9. Похмурський В. І., Корній С. А., Косаревич Б. П. Дослідження адсорбції та дифузії водню в кластерах заліза методом функціонала густини. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2013. № 4. С. 62–69.
10. Трегубов Д.Г. Интенсификация процесса микродуговой очистки сточных вод при импульсном вводе мощности. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2000. №82. С.2–3. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3169>.