

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВСЕУКРАЇНСЬКА ЕКОЛОГІЧНА ЛІГА

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА”
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”



МІНІСТЕРСТВО
ОСВІТИ І НАУКИ
УКРАЇНИ



ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ

I Міжнародної науково-практичної конференції
“ПОДОЛАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ТА ЗАГРОЗ ДЛЯ
ДОВКІЛЛЯ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ - 2022”



Полтава, 26 – 27 травня 2022 р.

Відповідальна за випуск: завідувачка кафедри прикладної екології та природокористування,
д.т.н., проф. Олена СТЕПОВА.

«Подолання екологічних ризиків і загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022»: Збірник матеріалів I Міжнародної науково-практичної конференції «Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022», (26–27 травня 2022 року, Полтава – Львів). Полтава : НУПІ, 2022. 692 с.

Учасники конференції – міжнародні експерти, почесні гості, науковці, шкільна й студентська молодь та освітяни – розглядають проблеми раціонального використання природних ресурсів, захисту довкілля та енергозбереження, подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій та воєнних дій.

Матеріали подано мовами оригіналів. За викладення, зміст і достовірність матеріалів відповідають автори.

Оргкомітет конференції.

© Національний університет
«Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», 2022 р.

| | |
|---|-----|
| Степова О. В., Тягній Л. М. ЗАБРУДНЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ВОДОЙМ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ | 569 |
| Сторощук У. С., Мальований М. С. ДОСЛІДЖЕННЯ СУБСТРАТІВ НА ОСНОВІ КОМПОСТОВАНИХ ОСВ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ ЇХ У ТЕХНОЛОГІЯХ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ..... | 574 |
| Суха Н. І., Григор'єва Л. І. ІНДИКАТИВНІ ВИМІРЮВАННЯ ПОЛЮТАНТІВ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ АТМОСФЕРНИХ НЕБЕЗПЕК ПОБЛИЗУ МАСЛОЕКСКРАКЦІЙНОГО ЗАВОДУ | 577 |
| Твердохліб М. М., Трус І. М., Гомеля М. Д., Існюк С. Ю. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ НАНОМАТЕРІАЛІВ У ТЕХНОЛОГІЯХ ВОДООЧИЩЕННЯ..... | 581 |
| Титар О. В. ЕКОЛОГІЯ ДОВКІЛЛЯ ТА ЕТИЧНО-ПСИХОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОСТІ | 585 |
| Тихомирова Т. С. ПЕРСПЕКТИВИ РЕАЛІЗАЦІЇ РЕГІОНАЛЬНИХ ПЛАНІВ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ ВОЄННИХ ДІЙ В УКРАЇНІ | 588 |
| Тітова А. О., Шмандій В. М. ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ РУЙНАЦІЇ У ВОЄННИЙ ТА ПОВОЄННИЙ ЧАС..... | 591 |
| Ткаченко Т. М., Лопатко Я. Б. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ УТИЛІЗАЦІЇ СМІТТЯ ЧЕРЕЗ НАДМІРНЕ ВИРОБНИЦТВО ОДЯГУ «ШВИДКОЇ МОДИ»..... | 594 |
| Тоцька А. О. ВИКОРИСТАННЯ 5G ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОВЕДЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ РОБІТ..... | 598 |
| Трегубов Д. Г. ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ РЕЖИМИ ЗНЕШКОДЖЕННЯ СТІЧНИХ ВОД У СИСТЕМІ З ОБ'ЄМНИМ ЕЛЕКТРОДОМ..... | 602 |
| Трохименко Г. Г., Недорода В. М., Храпко Т. М. ВИБІР РОСЛИННИХ ТЕСТ-СИСТЕМ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ФІТОТОКСИЧНОСТІ ЗАБРУДНЕНОГО НАФТОПРОДУКТАМИ ҐРУНТУ | 607 |
| Удовенко І. О., Шемякін М. В. ДЕГРАДАЦІЙНІ ЯВИЩА У ЗЕМЛЕВПОРЯДКУВАННІ..... | 611 |
| Уланов М. М. ПЕРСПЕКТИВИ ВЕЛИКОМАСШТАБНОГО ВИРОБНИЦТВА ЕКОЛОГІЧНО-ЧИСТОГО ВОДНЮ В УКРАЇНІ..... | 614 |

Трегубов Д. Г., к. т. н., НУЦЗУ, Харків, Україна

ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ РЕЖИМИ ЗНЕШКОДЖЕННЯ СТІЧНИХ ВОД У СИСТЕМІ З ОБ'ЄМНИМ ЕЛЕКТРОДОМ

Розвиток промислового виробництва супроводжується утворенням нових водних забруднених багатоскладових систем, які підлягають очищенню для захисту природних водойм або на стадіях оборотного водопостачання. До таких належать стічні води коксохімічного (КХВ), металургійного та гальванічного (ГВ) виробництв, які містять органічні та неорганічні забруднення, у тому числі іони важких металів та бенз(а)пірен. Але стандартні технології дозволяють видаляти важкі метали з одночасним підвищенням солемісту води. Сучасне кінцеве водоочищення шляхом біохімічної обробки потребує глибокого попереднього видалення багатьох сполук, які негативно впливають на життєдіяльність специфічних мікроорганізмів: фенолів, роданідів, смол, масел, бенз(а)пірену та ін.

Широкий спектр впливів на водну систему та просту технологію має електрохімічна обробка. Електрична енергія вводиться в оброблювану воду та перетворюється в енергію хімічних реакцій або руху частинок. Реакції протікають на межі електрод-електроліт із формуванням сукупності активних продуктів. Перевагою таких методів є повна чи часткова відмова від споживання хімічних реагентів та безперервність обробки. Водночас, за умови поєднання з іншими методами впливу є можливість очищати промислові стічні води від домішок різного складу та дисперсності й знизити їх ХПК з 20000 до 100 мгО₂·дм⁻³ [1] без збільшення солемісту.

Стічні води ГВ забруднені з'єднаннями важких металів (наприклад, хрому) з вмістом до 100 мг·дм⁻³. Їх очищення проводять реагентними або електрохімічними методами [2]. Ефективність електрохімічної технології визначає матеріал аноду. Поширені аноди (оксидно-рутенієві та оксидно-іридієві, покриті титаном) передбачають обробку концентрованих розчинів NaCl [3]. Існують більш ефективні покриття потрійним сплавом Co–Mo–W [4]. Також стійкими до розбавлених розчинів NaCl є графітові матеріали. Активізацію анодних процесів досягають розвитком реакційної поверхні в умовах насипного аноду у сітчастому корпусі; заповненням електролізеру насипним електродом (кожна частинка має функції аноду та катоду) [3, 6].

Коагулянти (гідроксиди) отримують електрохімічним розчиненням аноду з заліза або алюмінію з коагуляцією забруднень води в іншій камері [5], що збільшує вихід сорбенту за током порівняно з електролізом, усуває пасивацію й зашламлення анодів забрудненнями води, дозволяє розчинювати металеві виробничі відходи. Перша стадія триває до 12 год., а роздільність технології вилучає з очищення інші електрохімічні ефекти.

Гальванокоагуляція з короткозамкненим гальванічним елементом «Fe-кокс» відновлює Cr(VI) до Cr(III), який у стані гідроксиду осаджується гідроксидом Fe(II). Така технологія спрощує електроживлення та знижує енерговитрати на очищення у 10 разів до $0,5 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot \text{м}^{-3}$, усуває пасивацію, дозволяє використати металеві відходи. Процес триває у широкому діапазоні значень рН та температур води. Осад, що утворюється, легко видаляється. Однак підтримання заданої якості технологічного процесу ускладнюється повільністю електрохімічних реакцій, що вимагає більших розмірів апаратів, та флуктуаціями сили струму в об'ємному електроді. Видаленню забруднень може допомогти електрофлотація: гази електролізу утворюють пухирці та за адгезії до них частинок забруднень утворюються агрегати, які спливають на поверхню рідини.

Поширене електрохімічне водоочищення за умови бездіафрагмового електролізу на нерозчинних електродах і наявності хлор-іонів (наприклад, додавання NaCl із низькими концентраціями). При цьому у воду переходять гіпохлорит натрію та молекулярний хлор, E_h розчину зростає до 1000 мВ. Графітові електроди мають збільшену поруватість та розвинуту робочу поверхню, що гальмує вихід хлору за струмом та інтенсифікує виділення кисню. При розчиненні залізних анодів за такої технології E_h знижується до -800 мВ за рахунок іонів Fe(II). Це дозволяє відновлювати Cr(VI) [5, 6], при цьому рН може зростати до 10 за енерговитрат 2000 Кл/л. Однак, хлорування стічних вод може призвести до утворення хлорорганічних сполук, які потребують більш глибокого очищення.

Існує вид очищення стічних вод шляхом їх обробки мікророзрядами в середовищі об'ємного електроду: за подачі напруги у системі виникає електричний струм великої густини з утворенням у місцях контакту частинок численних електричних розрядів із температурою до $5000 \text{ }^\circ\text{C}$ та тиском до 100 МПа [8]. Більш інтенсивне введення енергії в робочій простір дозволяє зменшувати розміри апаратів. Температура іскри ініціює розкладання більшості речовин на прості сполуки, іони та вільні радикали. При цьому до 95% введеної енергії переходить у теплову, до 20% – витрачається на механічну роботу, до 10% – випромінюється [8]. Формується комплекс фізичного і хімічного впливів на забруднюючі воду домішки, а до електрохімічних ефектів додається високотемпературний вплив мікророзряду і пов'язані з ним процеси. Продукти плазмохімічних реакцій миттєво «заморожуються» у воді. Випромінювання у різних діапазонах ініціює подальші паро- та рідкофазні реакції, утворюються окисники, радикали та зона стиснення. Електричний розряд знезаражує воду, сприяє коагуляції та окисненню сполук. Однак сам мікророзряд має крапкову дію, що обумовлює неможливість рівномірної обробки. Тому ефективно очищення стічних вод у мікророзрядах може бути досягнуто лише за використання усього комплексу перелічених впливів.

Окиснення під дією мікророзрядів протікає шляхом плазмохімічних,

електрохімічних, термоокислювальних, фотохімічних і вторинних реакцій з утворенням нетоксичних сполук, аж до діоксиду вуглецю, сульфатів, азоту і води. Джерелом активних елементів є вода, яка у зоні розряду розкладається до атомарного кисню і водню. Мікродуги створюють ерозію карбонових електродів та розкладання органічних сполук із утворенням дисперсного карбону, який адсорбує органічні домішки стічних вод.

В умовах металевого об'ємного електроду зменшуються втрати на створення мікродугового розряду у середовищі стічної води. Тому ерозія металевих електродів виникає за меншої електричної потужності з насиченням води великою кількістю дрібнодисперсних часток металу та наступним утворенням коагулянту. Наночастинки гідроксидів металів активно сорбують інші молекули з утворенням міцних сольватних комплексів. Але при цьому не видаляються органічні сполуки.

Досліджено [2, 7] обробку стічних вод електророзрядами з напругою живлення до 1000 В та великою густиною введення потужності. Для утворення мікродугового розряду амплітуда електричної напруги повинна корелювати з відстанню між електродами, яку заповнено об'ємним електродом. В умовах мережевої напруги діють різнополярні імпульси, що виключає з процесу обробки багато електрохімічних ефектів. При випрямленні струму виникають уніполярні імпульси з частотою 100 Гц. Але у різні моменти часу на систему діє напруга різної амплітуди, що ініціює електрохімічні процеси різного характеру та інтенсивності. Виникає потреба зменшення частки низьковольтних впливів, що досягають режимами: випрямлена напруга без коливань; розряд електричного конденсатора; тиристорне «вирізання» максимуму мережевої напівхвилі.

Для досягнення ефективності такого очищення води проведено добір технологічних і електричних параметрів системи, властивостей електродів, геометрії реактора для даного режиму обробки. За дії короткого імпульсу з великою амплітудою зростає кількість мікродуг, реакційна поверхня та об'єм плазми розрядів. Енергія розподіляється пропорційно електричним опорам у системі «об'ємний електрод–мікродуга–стічна вода». Генерація мікродуг стає можливою, якщо електроопір сухого об'ємного електроду становить до 0,2 Ом·м [7]. Більш електропровідні кокси фракції 5-7 мм зменшують цей показник до 0,06 Ом·м, що знижує втрати потужності на утворення режиму мікророзрядів до 7% та підвищує видалення роданідів до 97% за їх вмісту 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 реалізується за напруги в імпульсі до 1000 В, частоти до 500 Гц та тривалості 0,1-0,4 мс, що зменшує енерговитрати. Збільшення електричної напруги на електродах на 2 % підвищує глибину очищення у 2 рази, інтенсифікує утворення дисперсного сорбенту, піроліз у мікророзрядах, наступні окисні процеси. Збільшення

частоти імпульсів посилює рівномірність обробки. Збільшення ширини електродів за незмінної потужності імпульсної обробки підвищує кількість паралельних ланцюгів мікророзрядів та зменшує потужність одного мікророзряду. За зміни швидкості потоку виявлено механізми очищення у мікророзрядах: 1) інтенсивність деструкції домішок меншає за збільшення швидкості потоку, оскільки меншає кількість мікродуг на одиницю поданої води; 2) поки сорбент є у надлишку, прискорення потоку покращує очищення; надалі виникає його нестача і погіршення очищення.

За умови видалення зі стічної води важких металів, потужність, що подається до реактору з об'ємним електродом у режимі електроімпульсної коагуляції $4,5\text{--}6,5 \text{ Вт/см}^3$, а витрата енергії $2\text{--}2,5 \text{ кВт/м}^3$ з інтенсивністю очищення $1 \text{ м}^3/\text{год}$ [2]. Стічні води КХВ містять феноли та роданіди, які електроімпульсна коагуляція не видаляє, тому для їх вилучення використано об'ємний електрод із металургійного коксу. При цьому більш рівномірний вплив на забруднення води створювали частинки карбону розміром до 5 мкм) за рахунок адсорбції органічних домішок. Більш повільно видаляються роданіди зі ступенем вилучення до 97% . Подана до реактору потужність становила $2\text{--}3 \text{ Вт/см}^3$, а витрата енергії на очищення стічної води – 20 кВт/м^3 (або 10 кВт/м^3 для доочищення після біохімічної установки) за подачі води $0,15 \text{ м}^3/\text{год}$ [7]. Видалення органічних сполук протікає ефективно за потужності 2 Вт/см^3 , роданідів – $2,6\text{--}2,9 \text{ Вт/см}^3$. Електроімпульсне очищення хромвмісних стічних вод (40 мг/дм^3) дозволяє досягати глибини очищення до $0,4 \text{ мг/дм}^3$. Знешкодження фенольних вод (фенолів 500 , роданідів 600 мг/дм^3) дозволяє досягати ХПК – 20 мг/дм^3 . Зниження ефективності видалення фенолів спостерігається за їх концентрації менше 20 мг/дм^3 , а роданідів – менше 200 мг/дм^3 .

Використані інформаційні джерела:

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 будівн. 2000. №19. С. 213–217.*
3. Слободської С. О., Сінкевич І. В., Тульський Г. Г., Шульга К. І. *Визначення перспективних способів очищення стічних вод коксохімічного виробництва. УглеХимический журнал. 2009. № 3-4. С. 88–92.*
4. Hapon Y., Chyrkina M., Tregubov D. *Co-Mo-W Galvanochemical Alloy Application as Cathode Material in the Industrial Wastewater Treatment Processes. Materials Science Forum. 2021, V.1038. P. 251–257.*
5. 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.*
6. Смирнов Д. Н., Генкин В. Э. *Очистка сточных вод в процессах обработки металлов. М.: Металлург, 1989. 224 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. Наугольных К. А., Рой Н. А. *Электрические разряды в воде. М. : Наука, 1971. 155 с.*