

УДК 628.16.087

<https://doi.org/10.15407/kataliz2023.34.092>

Розробка новітніх ресурсоефективних підходів до вирішення проблеми очистки нафтовмістних стічних вод

Олександр П. Хохотва, Олена І. Іваненко *, Оксана М. Терещенко

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Перемоги, 37/4, Київ, 03056, Україна, e-mail: olenka.vasaynovich@gmail.com

В статті відзначено, що забруднення поверхневих водних об'єктів нафтопродуктами у складі стічних вод в Україні у 2020 році сягнуло 246.6 т. Для водних організмів нафта і нафтопродукти є високотоксичними речовинами та відносяться до групи нервово-паралітичних отрут. Більшість стічних вод, що утворюються сьогодні в промисловості, повинні бути очищені від нафтопродуктів перед скидом в довкілля, проте існуючі технології очистки не повністю відповідають сучасним вимогам. Електрохімічні методи очистки мають ряд суттєвих переваг перед реагентними методами: не підвищується вміст солей у воді, що відіграє важливу роль при організації оборотних систем водопостачання; утворюється менша кількість осаду; спрощується технологічна схема очистки; відпадає необхідність в організації реагентного господарства; для розміщення електрохімічних очисних установок потрібні незначні виробничі площі. Експлуатація електричних очисних установок проста з огляду на їх високу технологічність і можливість автоматизації.

В результаті досліджень визначено оптимальні умови електрофлотаційної очистки води від нафтопродуктів. Досліджено залежність ступеня очистки від матеріалу аноду, рН вихідного розчину та густини струму. Встановлено, що найкращий ефект досягається в діапазоні рН 5-7 при густинах струму 0.25-0.3 А/дм². В присутності сульфатів очистка протікає краще, ніж в присутності хлоридів, оскільки іони СГ інтенсифікують точкове викришування матеріалу аноду. З досліджених матеріалів, як анод, можна рекомендувати сталь 08кп. Вивчено характер електрохімічного розчинення сталі 08кп в залежності від її попередньої обробки та вплив такої обробки на ступінь очистки води від нафтопродуктів. Показано, що при додаванні в нафтовмісну воду сульфонолу НП-3 з флокулянтом ВПК-402 утворюється нерозчинний у воді комплекс, який сприяє більш повному очищенню води від нафти і нафтопродуктів.

Ключові слова: нафтопродукти, стічні води, очистка, електрофлотація

Вступ

Широке і різноманітне застосування у народному господарстві нафтопродуктів таких як палив, індустріальних масел, мастил, емульсій, розчинників призводить до того, що стічні води майже всіх промислових і транспортних підприємств у різних кількостях містять нафтові забруднення. Джерелами стічних вод є дощові і талі води, які забруднюються нафтою, нафтопродуктами, реагентами, механічними домішками, протікаючи по майданчиках технологічних установок і резервуарних парків. Забруднення поверхневих водних об'єктів нафтопродуктами у складі стічних вод в Україні у 2020 році сягнуло 246.6 т [1]. Якщо врахувати, що маса нафти на поверхні води у вигляді плівки, що не розриваються хвилями, складає 1.2 г/м² [2], то можна припустити, що забруднена поверхня водних джерел тонким шаром нафти та нафтопродуктів у 2020 році становила 205.5 млн м². Відомо, що поверхнева масляниста плівка нафти та нафтопродуктів, порушуючи газообмін водоймища, створює дефіцит кисню та призводить до асфіксії риб. Окрім того, водорозчинні сполуки легко проникають в організм риб та при концентрації нафти 0.1 мг/дм³ м'ясо риби набуває неусувного «нафтового» запаху і присмаку [3]. Для ікри, молоді риб і ракоподібних згубною виявляється концентрація нафти всього лише в 0.01-0.1 мг/дм³, тоді як на дорослі організми така концентрація не має токсичної

дії. Негативний вплив плівкових нафтопродуктів в концентраціях 0.001-10 мг/дм³ позначається також на розвитку вищої водної рослинності. Токсична дія нафти і нафтопродуктів на зоопланктон починається при концентрації 0.001 мг/дм³, а при концентрації нафтовмісного забруднювача 0.1 мг/дм³ зоопланктон гине [3]. Для водних організмів нафта і нафтопродукти є високотоксичними речовинами та відносяться до групи нервово-паралітичних отрут.

Згідно сучасних вимог нормативних документів вміст нафтопродуктів у стічних водах, що скидаються в міські каналізаційні системи, не повинен перевищувати 10 мг/дм³ [4], в поверхневій воді - 0.3 мг/дм³ [5]. Тому більшість стічних вод, що утворюються сьогодні в промисловості, повинні бути очищені від нафтопродуктів перед скидом в довкілля. Існуючі технології очистки води від нафтопродуктів не повністю відповідають сучасним вимогам. Процеси відділення органічних домішок в нафтовловлювачах характеризуються невисокою продуктивністю та ефективністю. Фізико-хімічні методи вимагають застосування дорогих матеріалів та реагентів, значних енергетичних витрат. Застосування сорбентів в значній мірі обмежується складністю процесів відновлення їх ємності. Тому існує необхідність у вдосконаленні існуючих методів очищення води від нафтопродуктів, створенні нових підходів до вирішення проблеми.

Економічно і технологічно доцільніше очищати окремі специфічні цехові стічні води в локальних спорудах. Одним з таких засобів є метод електрофлотації, який створює сприятливі умови для утилізації цінних компонентів і здешевлення процесу утворення концентратів. Використання електричного поля дозволяє проводити безреагентну очистку вод. При цьому відпадає необхідність доставки реагентів, ємкостей для зберігання і приготування, системи їх вводу, розбавлювачів, коагуляторів, насосу. Крім того, для розміщення вказаних очисних пристроїв потрібні великі виробничі площі, і, що найголовніше, ці споруди не мають стабільної очищувальної здатності в процесі роботи. Експлуатація електричних очисних установок проста з огляду на їх високу технологічність і можливість автоматизації.

Особливість методу електрофлотації полягає у тому, що під дією постійного електричного струму при середніх (100-500 А/м²) і високих (500-1000 А/м²) значеннях густини струму на електродах, в рідині, що містить частинки забруднень, одночасно протікають два основних процеси:

- 1) коагуляція забруднень під дією електричного поля;
- 2) формування і закріплення бульбашок електролітичного газу на поверхні скоагульованих часточок, що забезпечує їх наступну флотацію [6].

Процес електрофлотації може протікати при використанні як розчинних (залізо, алюміній), так і нерозчинних (платина, графіт, титан) анодів. Встановлено, що ефективність очистки нафтовмісних стічних вод при використанні розчинних (алюмінієвих) електродів вище, ніж при використанні нерозчинних (графітових) електродів. Це пов'язано з електрохімічним розчиненням алюмінієвих анодів і утворенням в очищуваній рідині активних оксигідратів алюмінію, які мають сорбційну та адгезійну здатність відносно високодиспергованих і розчинених нафтопродуктів.

Метою даної роботи є дослідження процесу очистки води від нафтопродуктів методом електрофлотації з використанням анодів з різних металів.

Експеримент

Процес очистки води від нафтопродуктів методом електрофлотації досліджували з використанням алюмінієвого, титанового і сталевих анодів. Досліди проводили на лабораторній

електрофлотацийній установці (рис. 1). Установа працювала в такому режимі. Вода з резервуара 2 подавалась у флотацийну колону 1 через патрубок 3, опускалась повільно вниз по міжтрубному простору, піднімалася вгору по внутрішній трубі. Очищена вода опускалася по міжтрубному простору 4 до вихідного патрубку 5, проходила через пристрій для підтримування постійного рівня води в установці 6 і збиралася в резервуарі чистої води. При цьому на електроди 8 подавався постійний струм з випрямляча, що забезпечував електроліз води та виділення бульбашок газу. Піна збиралася у верхній частині колони і відводилася через лоток 7. Швидкість подачі води в колону встановлювалася регулятором 9. Після закінчення роботи установку спорожнювали, відкривши кран 10.

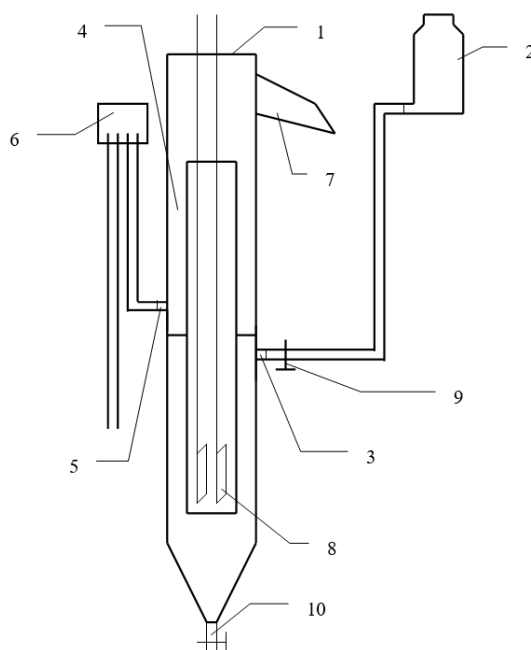


Рис. 1. Схема лабораторної електрофлотацийної установки неперервної дії: 1 – електро-флотатор; 2 – резервуар з нафтовмісною водою; 3 – патрубок подачі нафтовмісної води; 4 – частина установки з очищеною водою; 5 – патрубок відбору очищеної води; 6 – перелив для підтримання постійного рівня води в установці; 7 – лоток відбору піни; 8 – блок електродів; 9 – регулятор швидкості подачі води; 10 – кран

Для очистки використовувалися модельні емульсії нафти у воді з концентрацією від 17 до 29 мг/дм³. Застосовували: розчинні аноди - алюмінієвий марки АД-31, сталеві сталь 20 і сталь 08кп, нерозчинний - титан. Катод - сталь 12X18H10T. Площа кожного електрода складала 3 дм². Електропровідність розчинів створювали додаванням NaCl або Na₂SO₄ в такій кількості, щоб їх концентрація в робочих розчинах була 200 мг/дм³. Процес очистки води від нафти контролювали екстракційно-спектрофотометричним методом [7]. В очищеній воді контролювали залишкову концентрацію Fe³⁺ фотоколориметричним методом з сульфосаліцилатом натрію [8].

Для даної електрофлотацийної установки встановлювали швидкість пропускання води через установку, при якій отримуються кращі результати. Для цього воду подавали зі швидкістю в діапазоні 10÷70 см³/хв при застосуванні анода АД-31 в нейтральному середовищі. При цьому анодна густина струму становила 0.2 А/дм². В очищеній воді визначали залишкову концентрацію нафтопродуктів.

Ефективність очистки (S) розраховували за формулою:

$$S = \left(1 - \frac{C_k}{C_o}\right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

де C_k - залишкова концентрація нафти у воді, мг/дм^3 , C_o - початкова концентрація нафти у воді, мг/дм^3 . Досліджували залежність ступеня очистки від рН вихідного розчину в діапазоні 1÷11 при витратах води 25÷35 $\text{см}^3/\text{хв}$. Для встановлення заданих величин рН користувались розчинами HCl і NaOH з концентрацією 0.1 моль/ дм^3 , інші умови дослідів як у попередньому випадку.

Для порівняння ефективності роботи анодів з різних матеріалів знімали залежності ефекту очистки від анодної густини струму в діапазоні 0.03÷0.3 А/дм^2 при оптимальних значеннях рН і швидкості протікання води через установку, які були встановлені у попередніх дослідях.

Для вивчення режиму роботи електрода зі сталі 08кп досліджували залежність інтенсивності електрохімічного розчинення заліза від попередньої обробки електрода та прикладеної напруги. Методика проведення експерименту така. Застосовували 4 види попередньої обробки електродів:

- 1) без обробки;
- 2) пасивація в розчині HNO_3 з концентрацією 3 моль/ дм^3 протягом 15 хв;
- 3) анодування в такому ж розчині HNO_3 з пропусканням струму 0.6 А протягом 10 хв;
- 4) протравлювання електроду в розчині NaCl з концентрацією 2 г/дм^3 з пропусканням струму 0.5 А протягом 10 хв.

В останніх двох дослідях анодом був електрод зі сталі 08кп. Перед обробкою електроди зачищали шліфувальною шкіркою. Для кожного дослідів брали новий електрод. Експеримент проводили у склянці, куди вносили 0.5 дм^3 розчину Na_2SO_4 з концентрацією 400 мг/дм^3 . Струм пропускали протягом 15 хв. Після закінчення кожного дослідів фотометричним методом визначали кількість заліза, яка перейшла в розчин внаслідок електрохімічного розчинення аноду.

Аноди, оброблені описаними вище способами, встановлювали в електродні блоки для порівняння їх роботи при електрофлотаційній очистці.

Для покращення видалення нафтопродуктів з води в процесах флотації застосовували поверхнево-активні речовини (ПАР) і катіоноактивні флокулянти. Проводили серію дослідів, в яких в окремі проби забрудненої нафтою води вносили ПАР сульфенол НП-3 в дозах 0÷5 мг/дм^3 , а в інших до проб води з вмістом сульфенолу НП-3 1 та 2 мг/дм^3 додавали флокулянт ВПК-402 дозами від 0 до 10 мг/дм^3 і витримували 30 хв. Воду з внесеними реагентами подавали в електрофлотатор при рН = 6, витраті води 30 $\text{см}^3/\text{хв}$, густині струму $i = 0.3 \text{ А/дм}^2$, використовуючи алюмінієвий анод.

Результати та їх обговорення

Попереднє вивчення залежності ефективності очистки від складу фонового електроліту показало, що в присутності хлоридів очистка менш ефективна. З підвищенням прикладеної напруги поряд з електрохімічним розчиненням матеріалу аноду спостерігається точкове викришування електроду. Причому у випадку аноду зі сталі 20 в присутності іонів Cl^- викришування починається при нижчих значеннях напруги, ніж в присутності SO_4^{2-} . Вода після очистки набуває чорного кольору через дрібнодисперсне металічне залізо. Тому надалі як фоновий електроліт використовували розчин Na_2SO_4 .

При дослідженні залежності ефективності очистки від рН вихідного розчину в діапазоні рН = 1-11 для встановлення заданих значень рН користувались 0.1 М розчини HCl і NaOH . Для

алюмінієвого аноду кращі результати досягалися в діапазоні значень рН = 5-7, при яких спостерігається максимальне утворення пластівців коагулянту (рис. 2), що узгоджується з літературними даними [9]. Слід зауважити, що цей інтервал рН сприяє більш повному протіканню гідролізу алюмінійвмісних коагулянтів при реагентній очистці [10]. Тому в подальших дослідженнях використовували модельні розчини з рН = 6.

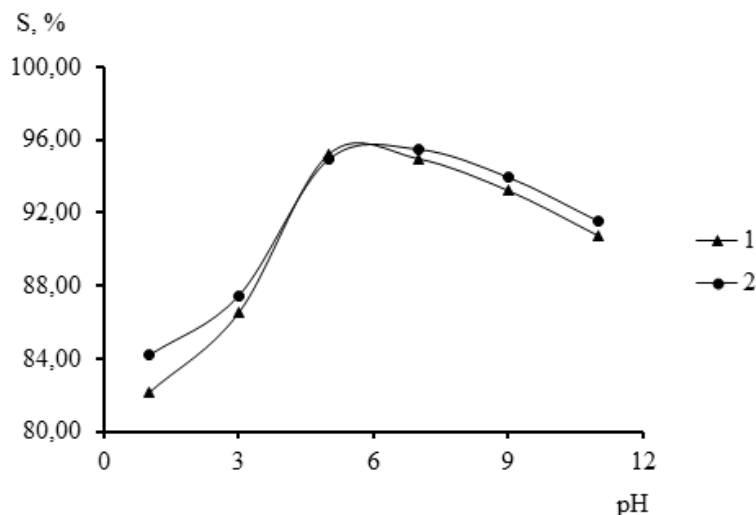


Рис. 2. Вплив рН на ефективність очистки води від нафтопродуктів при використанні алюмінієвого АД-31 (1) та сталевих анодів зі сталі 08кп (2)

При порівнянні ефективності роботи анодів з різних матеріалів було встановлено, що очистка найбільш ефективна при анодній густині струму вище $0,08 \text{ А/дм}^2$ (рис. 3). Для анодів АД-31 і сталь 20 графік прямує до певної асимптоти. Очистка найбільш ефективна в діапазоні $0,25\text{-}0,3 \text{ А/дм}^2$. Для сталі 08кп така залежність носить лінійний характер, причому, точкового викришування матеріалу аноду не спостерігається. У випадку використання алюмінієвого анода на початковому етапі ступінь очистки дещо вищий, ніж у сталевих. Однак в процесі експлуатації алюміній пасивується, покривається оксидною діелектричною плівкою і перестає працювати. При використанні титанового аноду, за інших рівних умов, отримали найгірші результати, при цьому споживалося приблизно в 1,5 рази більше електроенергії, ніж на інших електродах. Титан розчинявся дуже мало, при гідролізі електророзчинених іонів Ti^{4+} утворювалися дрібні пластівці гідроксиду, які погано затримувалися в піні і проскакували в очищену воду. Також, внаслідок високої твердості титану, його механічна обробка, необхідна для надання електроду потрібного розміру, дуже утруднена. Тому найбільш перспективним у використанні виявився анод зі сталі 08кп. Додатковою його перевагою є те, що ця сталь дешева у виготовленні і є продуктом багатотоннажного виробництва. В усіх випадках використання сталевих анодів залишкова концентрація іонів заліза в очищеній воді після коагуляції та відстоювання не перевищувала $0,3 \text{ мг/дм}^3$.

Результати досліджень з вивчення режиму роботи електроду зі сталі 08кп представлено на рис. 4. Як видно, попередня обробка електрода зі сталі 08кп має значний вплив на інтенсивність електрохімічного розчинення заліза. При перших трьох видах попередньої обробки електрода (без обробки; обробка у розчинах HNO_3) з підвищенням прикладеної напруги на початковій ділянці кількість електрохімічно розчиненого заліза зростає. При напрузі вище 4 В на аноді спостерігається протікання конкуруючого процесу – виділення кисню, починається пасивація електрода, вміст розчиненого заліза падає. Очевидно, що при електрохімічному протравлюванні сталі 08кп в розчині HNO_3 відбувається глибока пасивація поверхні заліза, тому з підвищенням напруги вміст розчиненого заліза зростає мало.

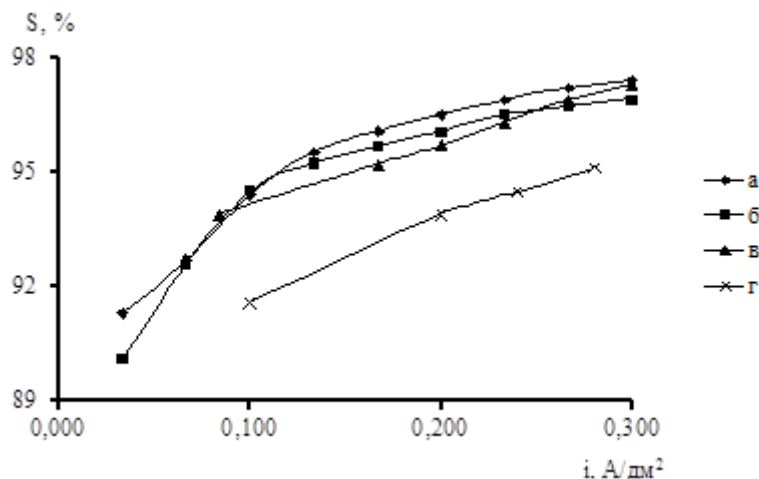


Рис. 3. Вплив густини струму на ефективність очищення води від нафтопродуктів в залежності від матеріалу аноду: а - алюміній АД-31; б - сталь 08кп; в - сталь 20; г - титан

У випадку попередньої обробки електрода в розчині NaCl характер залежності вмісту заліза від напруги зберігається, але спостерігається зсув напруги пасивації з 4 до 10 В. Крім того, хлориди, можливо, змінюють структуру поверхні електрода і завдяки своїй високій корозійній активності значно інтенсифікують процес електрохімічного розчинення заліза.

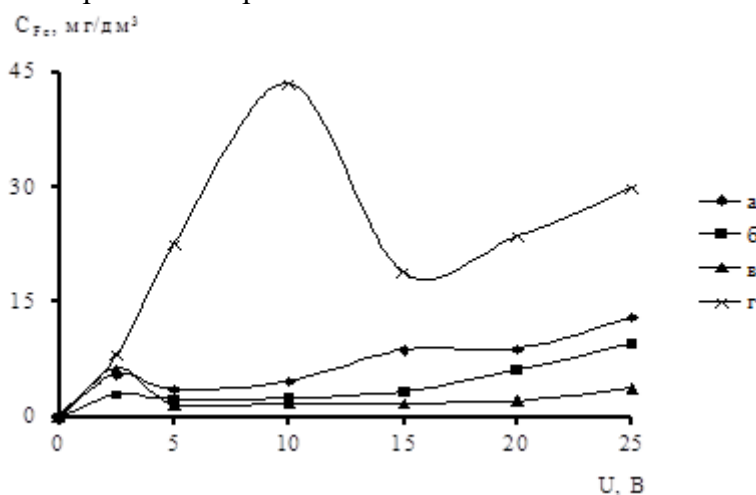


Рис. 4. Залежність вмісту розчиненого заліза від прикладеної напруги та попередньої обробки електрода: а - без обробки; б - обробка HNO₃; в - обробка HNO₃ з пропусканням струму; г - обробка NaCl

Подальші дослідження показали, що характер попередньої обробки аноду не впливає на ефект очищення води від нафтопродуктів. Це можна пояснити тим, що домінуючу роль у розділенні емульгованої фази і води відіграє процес флотації, а не сорбції на електрогенерованому коагулянті. Таким чином, попередня електрохімічна обробка електрода зі сталі 08кп у розчині HNO₃ сприяє збільшенню його строку служби.

Основну роль у процесі флотації диспергованих домішок відіграють поверхневі сили, ван-дер-ваальсовські сили притягання, електричні сили, що виникають при перекритті подвійних електричних шарів, які утворюються навколо часточки у водному розчині, і сили гідратації гідрофільних груп на поверхні часточки [11]. Дії цих сил визначають змочуваність чи незмочуваність часточки.

Змочуваність часточки водою, як відомо, визначається ступенем її гідрофобності. Чим більш гідрофобна речовина, тим менше вона змочується і краще флотується. Зміна змочуваності флотованих часточок досягається адсорбцією на їх поверхні поверхнево-активних речовин, в результаті якої полярні групи ПАВ закріплюються на часточці, а гідрофобні ланцюги повертаються у бік розчину. Таким чином,

при введенні невеликих кількостей поверхнево-активних речовин ефективність флотації збільшується. Це підтвердили проведені досліді (рис. 5).

Навіть при незначних концентраціях сульфонолу НП-3 ступінь очистки помітно зростала, що відповідає зниженню залишкових концентрацій нафти від 1.8 мг/дм^3 (без ПАР) до 1 мг/дм^3 (5 мг/дм^3 сульфонолу НП-3). Очевидно, що найбільш помітний ефект наявності ПАР спостерігається в області концентрацій $1 \div 2 \text{ мг/дм}^3$, тому вносити вищі його дози не доцільно.

Ефект флотації дрібнодисперсних часточок в значній мірі залежить від електростатичної взаємодії подвійних електричних шарів часточок і бульбашок. Сульфонол НП-3 є аніоноактивною речовиною і концентрується на поверхні розділу фаз. Як відомо з літературних даних [10], краплі емульгованої нафти і нафтопродуктів є негативно зарядженими часточками, ξ -потенціал яких може досягати -60 мВ . Якщо бульбашка і часточка заряджені однойменно і мають досить високий ξ -потенціал, ефективність флотації знижується.

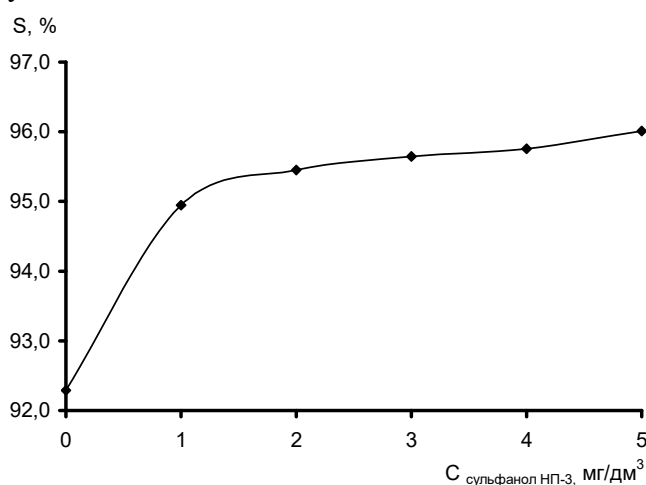


Рис. 5. Ефективність видалення нафти ($C_{\text{поч.}} = 24 \text{ мг/дм}^3$) в присутності ПАР сульфонолу НП-3

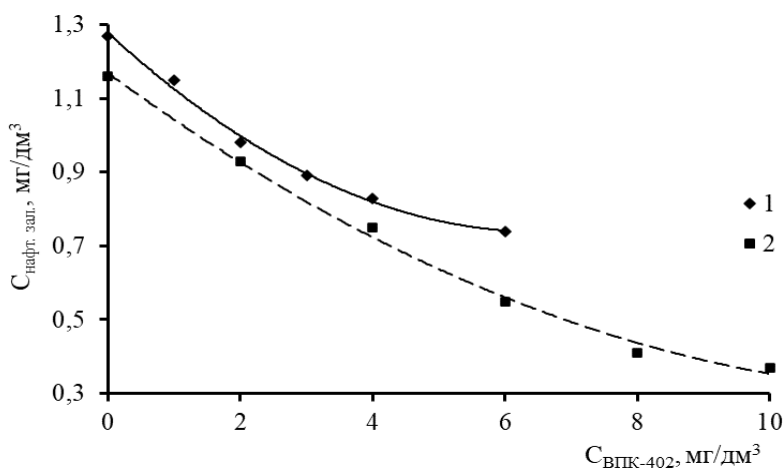


Рис. 6. Залежність вмісту нафти ($C_{\text{поч.}} = 27 \text{ мг/дм}^3$) в очищеній воді від дози ВПК-402 при різних концентраціях сульфонолу НП-3: 1 - 1 мг/дм^3 ; 2 - 2 мг/дм^3

Зниження електрокінетичного потенціалу часточок призводить до зменшення енергетичного бар'єра і покращення їх флотованості. При цьому немає необхідності в повній нейтралізації заряду. Достатньо, щоб значення електрокінетичного потенціалу знаходилося в межах від -15 до $+15 \text{ мВ}$ [10]. Із зменшенням абсолютного значення ξ -потенціалу ефективність флотації зростає як при позитивному, так

і при негативному знаку заряду. Цього можна досягнути введенням полікатіонітних флокулянтів. При взаємодії сульфону НП-3 з флокулянтом ВПК-402 утворюється нерозчинний у воді комплекс, який сприяє більш повному очищенню води від нафти (рис. 6). При зростанні концентрацій НП-3 і ВПК-402 залишкова концентрація нафти зменшувалася, однак значень нижче 0.3 мг/дм^3 досягти не вдалось. Це може бути пов'язано з тим, що додавання ПАР і флокулянту сприяє видаленню нафти в емульгованому стані, але практично не впливає на її розчинену фракцію. Для глибшого очищення води, очевидно, потрібно використовувати деструктивні або адсорбційні методи обробки води.

Важливою задачею є переробка утворених відходів очищення нафтовмісних стічних вод. Тверда фаза, що переходить у піну при електрофлотації, є сумішшю оксидів, гідроксидів заліза, алюмінію із значними кількостями нафтопродуктів. Осад після процесу електрофлотації доцільно використовувати в металургійній промисловості.

Висновки

Визначено умови електрофлотаційної очистки води від нафтопродуктів. Досліджено залежність ступеню очистки від матеріалу анода, рН вихідного розчину та густини струму. Встановлено, що найкращий ефект досягається в діапазоні рН 5-7 при густинах струму $0.25\text{-}0.3 \text{ А/дм}^2$. З досліджених матеріалів для анода рекомендовано сталь 08кп.

Вивчено характер електрохімічного розчинення сталі 08кп в залежності від її попередньої обробки та вплив такої обробки на ступінь очистки води від нафтопродуктів. Показано, що характер попередньої обробки аноду не впливає на ефект очистки води від нафтопродуктів. Це можна пояснити тим, що домінуючу роль у розділенні емульгованої фази і води відіграє процес флотації, а не сорбції на електрогенерованому коагулянті. Таким чином, попередня електрохімічна обробка електроду зі сталі 08кп у розчині HNO_3 сприяє збільшенню його строку служби.

Досліджено, що при додаванні в нафтовмісну воду сульфону НП-3 з флокулянтом ВПК-402 утворюється нерозчинний у воді комплекс, який сприяє більш повному очищенню води від нафти і нафтопродуктів.

Література

1. Статистичний збірник «Довкілля України 2020». Київ: Державна служба статистики України, 2021. 189 с. <https://ukrstat.gov.ua>
2. Максимюк М.Р., Міцкевич Д.І., Міцкевич А.І. Нафтове забруднення поверхневих вод та шляхи подолання його наслідків. *Наукові праці. Техногенна безпека*, 2014, **221**(233), 37–40.
3. Шапорев В.П., Шестопапов О.В., Мамедова О.О., Бахарева Г.Ю., Кобилянський Б.Б., Пушкова О.П. Біологічні методи охорони навколишнього середовища від забруднення нафтопродуктами: монографія. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – 216 с.
4. Правила приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення. Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 01.12.2017 № 316.
5. Методичні рекомендації з розроблення нормативів гранично допустимого скидання забруднюючих речовин у водні об'єкти із зворотними водами. Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України 05 березня 2021 року № 173.
6. Айрапетян Т.С. Водопостачання та очистка стічних вод промислових підприємств: конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2021. – 138 с.

7. Гомеля Н.Д., Калабина Л.В., Хохотва А.П. Экстракционно-спектрофотометрический метод определения суммарного содержания нефтепродуктов в воде. *Химия и технология воды*, 1999, **21**(6), 611–616.
8. Набиванець Б.Й., Осадчий В.І., Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б. Аналітична хімія поверхневих вод: монографія – Київ: Наукова думка, 2007. – 455 с.
9. Березуцкий В.В. Обеспечение безопасности при применении водных технологических эмульсий и растворов на производствах в металлообрабатывающих технологиях: монография. – Харьков, НТУ «ХПИ»: Факт, 2009. – 400 с.
10. Кульский Л.А. Основы химии и технологии. – Киев: Институт коллоидной химии и химии воды им. А.В. Думанского, 1991. – 568 с.
11. Астрелін І.М., Обушенко Т.І., Толстопалова Н.М., Таргонська О.О. Теоретичні засади та практичне застосування флотоекстракції: огляд. *Вода і водоочисні технології*, 2013, **3**, 3–23.

References

1. Statistical publication “Environment of Ukraine 2020”. Kyiv: State Statistics Service of Ukraine, 2021. 189. [in Ukrainian]. <https://ukrstat.gov.ua>
2. Maksimyuk M.R., Mickevich D.I., Mickevich A.I. Oil pollution of surface waters and ways to overcome its consequences. *Scientific works. Man-made safety*, 2014, **221**(233), 37–40. [in Ukrainian].
3. Shaporev V.P., Shestopalov O.V., Mamedova O.O., Bakhareva G.Yu., Kobylanskyi B.B., Pushkovata O.P. Biological methods of environmental protection from oil pollution: monograph. – Kharkiv: NTU “KhPI”, 2015. – 216 p. [in Ukrainian].
4. Rules for receiving wastewater into centralized drainage systems. Order of the Ministry of Regional Development, Construction and Housing Services of Ukraine December 1, 2017, N 316. [in Ukrainian].
5. Methodological recommendations for the development of standards for the maximum allowable discharge of pollutants into water bodies with return waters. Order of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine, March 5, 2021, N 173. [in Ukrainian].
6. Hayrapetyan T.S. Water supply and wastewater treatment of industrial enterprises: a summary of lectures for applicants of the second (master’s) level of higher education, specialty 194 – Hydrotechnical construction, water engineering and water technologies. – Kharkiv: O.M. Beketov NUUEKh, 2021. – 138 p. [in Ukrainian].
7. Gomelya N.D., Kalabina L.V., Khokhotva A.P. Extraction-spectrophotometric method for determining the total content of oil products in water. *Chemistry and technology of water*, 1999, **21**(6), 611–616. [in Russian].
8. Nabyvanets B.Y., Osadchyy V.I., Osadcha N.M., Nabyvanets Yu.B. Analytical chemistry of surface waters: monograph. – Kyiv: Naukova dumka, 2007. – 455 p. [in Ukrainian].
9. Berezutsky V.V. Ensuring safety in the application of aqueous technological emulsions and solutions in production in metalworking technologies: monograph. – Kharkiv, NTU “KhPI”: Fact, 2009. – 400 p. [in Russian].
10. Kulsky L.A. Fundamentals of chemistry and technology. – Kyiv: A.V. Dumansky Institute of Colloid Chemistry and Chemistry of Water, 1991. – 568 p. [in Russian].
11. Astrelin I.M., Obushenko T.I., Tolstopalova N.M., Targonska O.O. Theoretical principles and practical application of float extraction: an overview. *Water and water purification technologies*, 2013, **3**, 3–23. [in Ukrainian].

Надійшла до редакції 04.04.2023 р.

Development of new resource-efficient approaches to the solution of the problem of purification of naphtha local wastewater

Oleksandr P. Khokhotva, Olena I. Ivanenko *, Oksana M. Tereshchenko

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
37/4 Peremogi Avenue, Kyiv, 03056, Ukraine, olenka.vasaynovich@gmail.com*

The article noted that the pollution of surface water bodies by oil products as part of wastewater in Ukraine in 2020 reached 246.6 tons. For aquatic organisms, oil and oil products are highly toxic substances and belong to the group of nerve poisons. Most of the wastewater generated today in industry is subject to purification from petroleum products before discharge into the environment, however, existing purification technologies do not fully meet modern requirements. Electrochemical cleaning methods have a number of significant advantages over reagent methods: the salt content in water does not increase, which plays an important role in the organization of circulating water supply systems; less sediment is formed; the technological scheme of cleaning is simplified; there is no need to organize a reagent farm; small production areas are required for the placement of electrochemical treatment plants. The operation of electric cleaning plants is simple due to their high manufacturability and the possibility of automation.

As a result of research, the optimal conditions for electroflotation water purification from oil products have been determined. The dependence of the degree of purification on the material of the anode, the pH of the initial solution and the current density was studied. It was established that the best effect is achieved in the pH range of 5-7 at current densities of 0.25-0.3 A/dm². In the presence of sulfates, cleaning proceeds better than in the presence of chlorides, since Cl⁻ ions intensify the point breakdown of the anode material. Among the studied materials, 08kp steel can be recommended as an anode. The nature of the electrochemical dissolution of 08kp steel depending on its preliminary treatment and the effect of such treatment on the degree of purification of water from petroleum products was studied. It is shown that when adding sulfanol НП-3 with flocculant БІК-402 to oil-containing water, a water-insoluble complex is formed, which contributes to a more complete purification of water from oil and oil products.

Keywords: oil products, wastewater, purification, electroflotation