

Столяренко Г.С.

Черкаський державний технологічний університет

Коваль М.Г.

Черкаський державний технологічний університет

Фоміна Н.М.

Черкаський державний технологічний університет

ЕЛЕКТРОАКТИВАЦІЯ ЯК МЕТОД РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ В ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД НА СТАДІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ

Одним із найбільш цінних скарбів, якими забезпечила нас природа, є вода. Вода, яка використовується в господарстві і промисловості, дуже забруднена. В ній накопичуються речовини органічного і мінерального походження, видалення яких з кожним днем стає все складніше і дорожче. Тому будь-які дослідження, спрямовані на скорочення токсичних і хімічно-шкідливих інгредієнтів в промислових стоках і в природній воді, створення ресурсозберігальних технологій очищення води, є надзвичайно актуальними і виправдовують свої затрати.

Стаття присвячена електрохімічному методу обробки води, який займає важливе місце серед інших методів очищення природних і стічних вод, що дозволяє відмовитися від використання хімічних реагентів.

У статті висвітлюється проблема забруднення води р. Рось на Черкащині, якість води якої підтверджено дослідженнями щодо перевищення вмісту нафтопродуктів, органічних сполук, пестицидів та важких металів, що є результатом скидання в річку недостатньо очищених стічних вод. У статті авторами висвітлено створення ресурсозберігальної технології інтенсифікації процесів очищення природних вод за допомогою електроактивації шляхом отримання католіту та аноліту.

У статті розглянуто очищення річкової води від органічних домішок та іонів важких металів методом електроактивації при мінімальному значенні сили струму на залізних катодах, залізних та титанових анодах; визначено максимальний ступінь очищення та обґрунтовано оптимальні умови ведення процесу. Авторами розроблена установка безперервної дії електроактивації води з регулюванням параметрів енергозатрат. Визначено, що використання розчинних залізних катодів та анодів для процесу електролізу забезпечує ступінь очищення води від іонів важких металів в межах 48-68%, тоді як при використанні титанових (ОРТ) анодів цей показник очищення води становить 7-34%. Визначено, що двофазна електроактиваційна обробка води в 2-3 рази знижує вміст важких металів та хлоропідних у питній воді. Досліджено, що на титанових анодах відбувається практично повне очищення від мікроорганізмів. З'ясовано доцільність використання вторинного етапу очищення води за існуючою технологією водопідготовки для отримання показників, які б відповідали стандартам та вимогам питної води.

Ключові слова: поверхневі води, стадія попереднього очищення, установка електроактивації води, оптимальні умови ведення процесу, ступінь очищення.

Постановка проблеми. Вода є найціннішим скарбом, яким забезпечила нас природа. Без води неможливе життя. Вода – будівельний матеріал клітин, розчинник, який надає потрібні поживні речовини організмам і виводить відходи життєдіяльності із організмів. У 2020 році лише 74% населення світу (приблизно 5,8 мільярда людей)

мали доступ до безпечної питної води, залишивши близько 2 мільярдів людей без належного водопостачання [1]. Вода незамінна в господарчій, промисловій та сільськогосподарській діяльності людини.

Вода, яка використовується в господарстві і промисловості, дуже забруднена. В ній нако-

пичуються речовини органічного і мінерального походження, видалення яких з кожним днем стає все складніше і дорожче. Тому будь-які дослідження, спрямовані на скорочення токсичних і хімічно-шкідливих інгредієнтів в промислових стоках і в природній воді, є надзвичайно актуальними і виправдовують свої затрати [2]. Становище ускладнюється ще й тим, що на водопровідних станціях країни прийнята фізико-хімічна технологія водопідготовки, яка включає коагуляцію, відстоювання, фільтрування і хлорування і є бар'єром для хвороботворних вірусів, бактерій, мікроскопічних грибів та водоростей. Однак, хлорування забрудненої органічними речовинами води супроводжується виникненням хлорорганічних речовин, які часто токсичніші вихідних. Вміст їх (наприклад, хлороформу) у питній воді в багатьох випадках перевищує гранично допустимі концентрації (ГДК), рекомендовані Всесвітньою організацією охорони здоров'я в десятки раз.

Основним актом, що здійснює регулювання цієї проблеми є Водний кодекс України [3], який здійснює регулювання правових відносин з метою забезпечення збереження, науково-обґрунтованого, раціонального використання вод для потреб населення і галузей економіки, відтворення водних ресурсів, охорони вод від забруднення, засмічення та вичерпання, запобігання шкідливим діям вод та ліквідації їх наслідків, поліпшення стану водних об'єктів, а також охорони прав підприємств, установ, організацій і громадян на водокористування.

Вже протягом багатьох років екологічний стан річки Рось, яка є джерелом отримання питної води на Черкащині, не відповідає державним стандартам України та показникам гранично допустимих концентрацій у воді забруднювальних речовин і на сьогодні вже не спроможна самовідновлюватися. Дослідження якості води у річці підтверджували перевищення у воді вмісту нафтопродуктів, органічних сполук, пестицидів та важких металів (свинцю, кобальту, миш'яку та ін.). Забруднення води р. Рось пов'язано зі скиданням в неї недостатньо очищених стічних вод, що призвело до втрати здатності до самоочищення. За останні роки було прийнято чимало розпоряджень та наказів щодо комплексного вирішення проблем басейну річки Рось, а саме розпорядження Кабінету Міністрів України № 648-р від 12 липня 2024 р. «Про затвердження плану дій щодо комплексного вирішення проблем басейну річки Рось на 2024-2030 роки» та наказ Держводагентства №103 від 06 серпня 2024р. «Про затвердження Плану заходів Державного агентства водних ресурсів України з вико-

нання Плану дій щодо комплексного вирішення проблем басейну річки Рось на 2024-2030 роки».

За даними лабораторних досліджень, проведеними науковцями на кафедрі хімічних технологій та водоочищення Черкаського державного технологічного університету, визначені токсикологічні показники складу води р. Рось, які надані в таблиці 1.

Привертають увагу негативні показники значень: ХСК, БСК, вміст нафтопродуктів, Індекс ЛКП, а також вміст важких металів (фактичні концентрації у воді в районі водозабору «Сівач»).

Основними водокористувачами в басейні річки Рось є 4 водозабори питного водопостачання: Білоцерківський, Богуславський, Миронівський та Корсунь-Шевченківський; водозабори промислових підприємств та водозабори цукрокомбінатів, що забирають воду з р. Рось та її приток. З Білоцерківського водозабору вода подається у м. Умань і м. Узин, питну воду р. Рось споживає близько 500 тисяч людей цих населених пунктів. Україна займає одне з останніх місць серед країн Європи за запасами водних ресурсів у розрахунку на одиницю площі і на одного жителя, але водночас, Україна займає одне з перших місць за рівнем споживання та рівнем забруднення водойм. Всі наші великі ріки за міжнародними стандартами вважаються забрудненими і «дуже забрудненими». Це стосується і більшої частини їх основних приток.

Одним із негативних наслідків технічного прогресу та урбанізації стало зниження якості води річок, водосховищ, які є основним джерелом централізованого питного водопостачання. Погіршення стану природних вод переважно зумовлене скиданням неочищених або недостатньо очищених побутових та промислових стоків, зливом дощовими та талими водами з поверхні водозабору (міст, сіл, сільськогосподарських угідь та ін.), забруднень органічного та неорганічного походження, хвороботворних мікробів. В останні роки збільшилося потрапляння у водоймища суспензій, розчинів та хімічних забруднень, що безпосередньо пов'язано з військовими діями в Україні. Крім того найближчим часом ці явища будуть зростати оскільки органічні речовини та біогенні елементи (Фосфор, Нітроген та інші), що вносяться в природні води, є поживним субстратом для мікроорганізмів, а хімічне забруднення завжди супроводжується інтенсивним вторинним біологічним забрудненням.

Задля істотного зменшення кількості споживаних людиною шкідливих речовин, необхідно

перейти до використання екологічно чистих методів очищення води, до яких відносяться електрофізичні методи очищення. Одним з найважливіших напрямів у розвитку електрофізичних методів інтенсифікації слід вважати використання електроактивованої води [4].

Електрохімічні методи обробки води займають важливе місце серед інших методів очищення природних і стічних вод, що дозволяє відмовитися від використання хімічних реагентів, отримати необхідні реагенти безпосередньо з води, що обробляється. Особливо ефективно використання електрохімічних методів при створенні безвідходних і маловідходних технологій в замкнутих системах водного господарства, де введення будь-якої речовини обов'язково призводить до її накопичення. Електрохімічний метод очищення є універсальним методом зниження концентрації токсичних сполук та зниження вмісту органічних сполук при співосажденні.

Основне призначення методу електроактивації – одержання очищеної питної води, причому очищення відбувається практично всіх елементів

забруднення: солі металів, віруси, нітроти, гербіциди, феноли, органіка – усе розпадається на іони й випадає у вигляді осаду або утворюється у вигляді газу в атмосферу. Після осаждення домішок окремо в католіті та аноліті, які є рідкими продуктами електроактивації води, та відділення осадів очищені розчини об'єднуються, взаємно нейтралізуючись, що приводить до комплексного очищення води. При цьому питна вода стає біологічно активною, що істотно поліпшує обмін речовин в організмі людини. Дуже важливо, що аноліт є м'яким антисептиком і антибіотиком, а католіт – імуностимулятором і радіопротектором, який захищає від радіоактивних випромінювань [5]. Після електрохімічної обробки воду доцільно направляти на стадію стандартної водопідготовки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Метод електричної активації, розроблений співробітниками Середньоазіатського НДІ природного газу (м. Ташкент) у 1972 році, в основі якого покладений давно відомий хімічний процес, який проходить при пропусканні струму через роз-

Таблиця 1

Токсикологічні показники складу води р. Рось

Показники якості води р. Рось	ГДК за ДСанПіН (2.2.4-171-10)	Фактичні показники в с.м.т Стеблів, вище ГЕС	Фактичні показники на водозаборі «Сівач»	Гранично допустимі концентрації (ГДК)		
				Україна	КЕС	ВООЗ
Запах, бали	–	1	1	2	3	3
Кольоровість, град	–	25	25	20	20	15
Мутність, мг/дм ³	–	2,8	3,8	1,5	5	5
Водневий показник, рН	6,5-8,5	6,4	6,4	6-9	6,5-8,5	6,5-8,5
Прозорість за Снелленом, см	–	30	30	–	–	–
Завислі речовини, мг/дм ³	–	7,4	9,2	–	–	–
Розчинний кисень	4	5,2	5,6	–	–	–
Хлориди, мг/дм ³	350	48	53,54	350	250	250
Сульфати, мг/дм ³	500	42/72	33/73			
Амоній сольовий, мг/дм ³	2,56	0,46	1,2	0,5	2,0	0,5
Нітроти, мг/дм ³	3,3	0,035	0,053	–	–	–
Нітрати, мг/дм ³	45	2,25/9,4	2,25/15,6	20	10	10
Жорсткість, мг-екв/дм ³	7	6,6	5,525	–	–	–
ХСК, мг/дм ³	15	95,4	81,0	–	–	–
БСК ⁵ , мг/дм ³	3	5,3	4,5	–	–	–
Залізо загальне мг/дм ³ ,	0,3	0,35	0,39	0,3	0,3	0,3
Вміст важких металів, мг/дм ³	–	4,8	4,8	–	–	–
Кальцій, мг/дм ³	–	58,1	62,6	–	–	–
Магній, мг/дм ³	–	45	42,6	–	–	–
Нафтопродукти мг/дм ³	0,3			–	–	–
Індекс ЛКП, в 1 дм ³	–	600	2300	–	–	–
Сухий залишок, мг/дм ³	–		892	–	–	–

чин електроліту – електроліз. Вчений Бахір В.М. звернув увагу на те, що процес електролізу слабомінералізованої води за наявності діафрагми, яка відокремлює зону розташування аноду від зони розташування катоду, суттєво відрізняється від традиційних процесів, які протікають відповідно до класичних законів електролізу. Водночас властивості води, що зазнала електрохімічної обробки, визначаються як початковою кількістю та складом мінеральних солей, так і параметрами електрохімічного впливу. В.М. Бахір запропонував називати це явище «електрохімічною активацією води» [6]. Новизна дослідного способу активації полягає у виключенні процесу перемішування електроліту.

При електричному способі активації води різко змінюються її властивості (електропровідність, поверхневий натяг, густина, окисно-відновний потенціал, рН, діелектрична проникність). Змінити ці властивості можна цілеспрямовано: так величину рН можна змінювати в межах 2-12, отримуючи таким чином середовище яке сприяє для позитивного процесу обробки тканин, який використовують в легкій промисловості [4, 7]. Активована вода використовується також в медицині, для очищення стічних вод; у виноробстві; в гірськозбагачувальній промисловості; нафтовидобувній промисловості та інших.

Науковці [8] займалися вирішенням проблем вилучення залишкових концентрацій радіоактивного ^{137}Cs із слабоактивних водних розчинів електролізно-мембранним способом очищення води, як складового чинника технології Плазма-Сорб (розробка ДУ ІГНС НАНУ). У роботі використовували штучно приготовлену слабоактивну радіоактивну воду із ґрунту АЕС Фукусіми [9]. Електроактивацію досліджуваної води проводили тричі протягом 60-70 хв, з нагріванням води до 85°C . Після першого електролізно-мембранного очищення води радіоактивність води зменшилася в 1,29 рази з вилученням до 77% іонів ^{137}Cs , після другого – в 1,59 рази з вилученням 63% іонів ^{137}Cs , після третього – повне очищення води та 100% вилучення іонів ^{137}Cs , що робить дану технологію перспективною в межах водопідготовки.

У роботі [10] запропоновано новий метод електричної активації води, який відрізняється від існуючих тим, що енергія для установки електрохімічної активації генерується за рахунок руху водних мас. Очікується, що на практиці електрична активація води частиною кінетичної енергії, зосередженої в її потоці, сприятиме мінімізації втрат у процесі подачі води на зрошування куль-

тур, що значно підвищить їх врожайність шляхом збільшення енергії рослин щодо проростання і схожості рослин.

Вчені з Латвії [11] досліджували знезараження питної води електролізом. Електрохімічна дезінфекція водопровідної води за допомогою нестехіометричних електродів з оксиду титану була достатньо ефективною для інактивації як метаболічно активних, так і культивованих бактерій *E. coli* до невизначуваного рівня протягом 15 хвилин при силі струму 0,5 А.

Науковці Черкаського державного технологічного університету досліджували ефективність використання методу електроактивації для очищення підземних вод. У ході досліджень визначено, що найбільший вплив на показник ступеня очищення чинить підвищення значення параметру напруги, оскільки при найменшій застосованій напрузі у 10В ступінь очищення становить 30,8%, а при максимально застосованій напрузі у 18 В – 53,2%. Найменший вплив чинить показник часу проведення електроактивації. Оскільки при напрузі в 12 В та тривалості процесу ступінь очищення становить лише 26,9%, що майже в два рази менше, ніж ступінь очищення води, отриманий при застосованій напрузі у 18 В та часу 600 с, а саме – 53,2% [12].

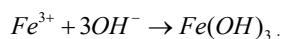
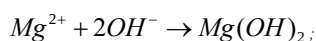
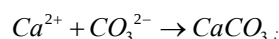
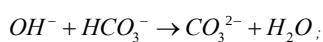
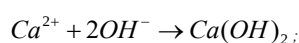
Мета статті – вивести на стаціонарний режим лабораторну установку електрохімічної активації; провести очищення води від органічних домішок та іонів важких металів при мінімальному значенні сили струму на залізних катодах, залізних та титанових (рутеній оксид на титані – ОРТ) анодах; визначити максимальний ступінь очищення та обґрунтувати оптимальні умови ведення процесу; теоретично обґрунтувати та експериментально підтвердити доцільність використання процесу електроактивації, як ресурсозберігального методу, для попереднього очищення природної води.

Об'єктом дослідження була вода з річки Рось Корсунь-Шевченківського водозабору Черкаської області (Україна). Предметом дослідження є умови зниження концентрації токсичних з'єднань з використанням електроактивації; визначення оптимальних гідродинамічних та енергетичних показників на лабораторній стендовій установці електроактивації.

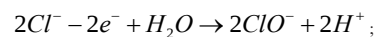
Дослідження ефективності очищення проб води за допомогою здійснено аналітичними, фізико-хімічними та органолептичними методами аналізу.

Виклад основного матеріалу. Електроактивація води заснована на переносі іонів та електронів

крізь напівпроникну мембрану, поміщену в розчин електроліту, при створенні в рідині різниці потенціалів з обох боків мембрани. У процесі електроактивації в катодній камері утворюється католіт – лужна («жива») вода, в анодній – аноліт, кислотна («мертва») вода. Токсичні сполуки осаджуються у вигляді гідроксидів, або надходять у вигляді газів в атмосферу [13]. При використанні проникних мембран рух Гідроксид-іонів, що утворилися, не асоціюється з катіонами Гідрогену, а підвищує рН катодного розчину до 10–12, знижуючи рН анодного розчину до 2–3. При цьому досягається 70–80% виходу за струмом із зниженням жорсткості води. Під впливом вільних гідроксид-іонів можливе протікання декількох конкуруючих реакцій у прикатодному просторі:



Електрохімічний метод очищення є універсальним методом зниження концентрації іонів важких металів; при підвищенні рН катодного розчину до 10–12 спостерігається осадження гідроксидів металів та зниження вмісту органічних сполук при співосажденні. Присутність іону хлору приводить до утворення ряду оксигеновмісних іонів за відомим механізмом електродних реакцій біля аноду:



В анодному просторі електроактиватора знижується рН і середовище стає кислим. Величина рН та значення окисно-відновного потенціалу (ОВП) впливають на фізико-хімічні та біохімічні процеси, які відбуваються при видаленні з води забруднювачів. Так в процесі окиснення, відновлення, дисоціації або комплексоутворення з регулюванням рН можна змінити окисно-відновний потенціал, напрям та швидкість хімічних реакцій, окисно-відновну активність речовин в розчині, стійкість комплексних сполук, а при біохімічному очищенні води – гальмувати життєдіяльність бактерій та змінювати каталітичну активність ферментів. Електрохімічна активація також приводить до знезараження води через те, що у розчині натрій хлориду утворюється аніон гіпохлориду, що сприяє процесу очищення. Зниження вмісту органічних сполук можна пояснити їх співосажденням на колоїдних частинках у катодній області та з частковим окисненням розчинених органічних речовин на аноді.

Таким чином, електрохімічний метод очищення є універсальним методом очищення води. До переваг методу можна віднести: можливість використовувати метод в присутності органічних сполук; заміна напівпроникних перегородок на проникні; простота конструкції та можливість її удосконалення; мінімізація витрат та можливість видалення солей у вигляді осаду.

Для проведення досліджень використовували лабораторний електроактиватор безперервної дії,

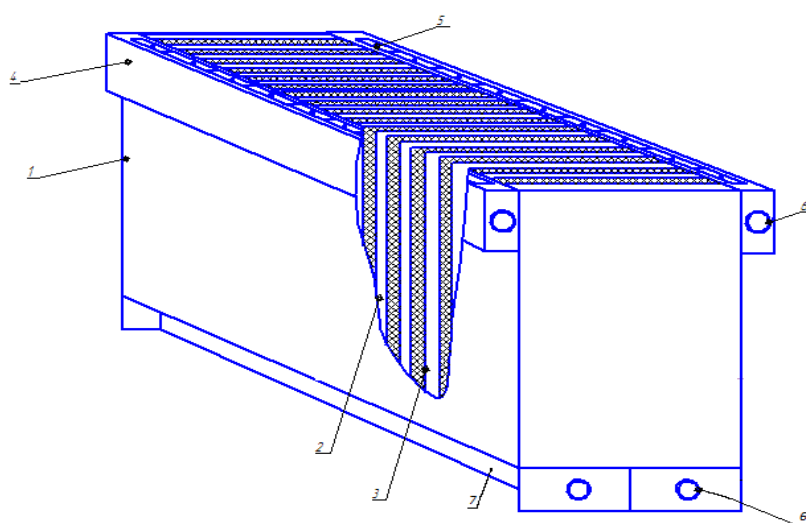


Рис. 1. Ескіз лабораторної установки для електроактивації води:
1 – ємкість; 2 – електрод; 3 – мембрана; 4 – камера відведення води;
5 – клеми; 6 – штуцер; 7 – камера підведення води

що дозволяє очищувати 2-3 м³/годину води. Ескіз установки для електроактивації води представлено на рис. 1.

Фото стендової установки електроактивації води надано на рис. 2.

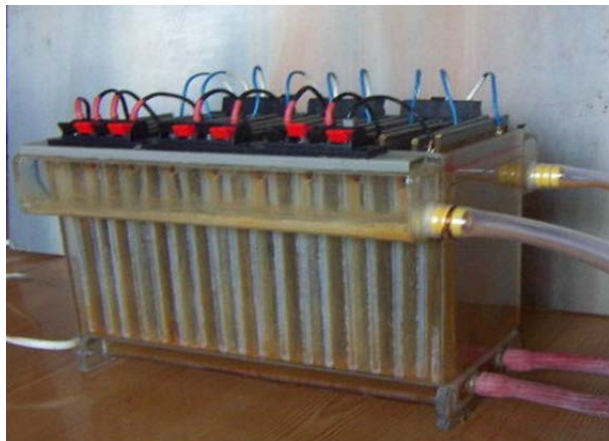


Рис. 2. Фото стендової установки електроактивації води

Основна ємкість виконана з органічного скла, прозорої пластмаси на основі поліметилметакрилату (пексиглас). Перевагами над звичайним склом є мала густина, вища міцність, добра технологічність: легко формується у виробі, обробляється різанням, добре зварюється, склеюється, характеризується доброю оптичною прозорістю (92%). Ємкість облаштована направляючими для точного герметичного встановлення напівпроникних мембран та сталевих електродів (для 17 мембран та 18 електродів). Направляючі проклеєні по низу та стінках апарату з кроком 15 мм для

мембран та 17 мм для електродів, виготовлені з тонкого, еластичного плексигласу. Зовні, у верхній частині ємкості приєднані дві продовгуваті камери, в які здійснюється відведення води з основної ємкості через отвори: католіт в одну камеру, аноліт в іншу. Вода з камер відведення витікає через штуцери. Знизу під донною частиною ємкості розташовані дві камери зі штуцерами для підведення води. Підведення води відбувається окремо для анодних та катодних камер через отвори в дні основної ємкості. Основна ємкість розділена на 18 рівних камер напівпроникними мембранами, в кожній з яких знаходиться сталевий катод. Сталеві електроди виконані зі сталі ст 3. Аноди виготовлено з рутеній оксиду на пористому титані. Анодний і катодний електроди утворюють дві групи, які чергуються, тобто група з'єднаних між собою анодних і окремо катодних пластин. Електрод є пластиною, до якої під'єднаний провідник живлення, з'єднаний із клеюю; група анодних електродів під'єднана до негативної клема живлення, а група катодних – до позитивної клема живлення. Клеми розміщені зверху на двох бокових камерах відведення. Напівпроникна мембрана виготовлена з бавовняної фільтрувальної тканини «Діагональ», що виконує функцію діафрагми між катодом і анодом, тобто призначена для запобігання вільного переносу іонів під дією електричного струму. Мембрана натягнута на рамку, виготовлену з вінілпласту.

Методика проведення експериментів. Проба води, попередньо відстояна та профільтрована крізь піщаний фільтр від механічних домішок та завислих речовин, завантажується в електроактиватор. Задается швидкість витікання, залежно від умов прове-

Таблиця 2

Ступінь очищення води р. Рось від іонів важких металів

Іони важких металів									
Fe ⁺²		Cr ⁺⁶		Cu ⁺²		Cd ⁺²		Pb ⁺²	
Матеріал аноду									
Fe	Ti	Fe	Ti	Fe	Ti	Fe	Ti	Fe	Ti
Ступінь очищення, %									
Не визначено		57,17	28,26	68,08	34,6	52,86	24,62	48,78	7,57

Таблиця 3

Ступінь очищення води від домішок

№	Параметри проведення процесу			Результати експерименту				
	I, A/ U, B	P, Вт/Е, кВт год/дм ³	V, мл	Жорсткість, мг–екв./дм ³	Сухий залишок, г/дм ³	Cl, мг/дм ³	Органічні домішки, мг/дм ³	pH кат
1	13/20	260/80,2	600	1,575	564	15,54	65	10
2	8/21	168/51,9	1200	1,675	326	25,91	50	9,5
3	6/21	126/38,9	1600	0,8	220	38,64	40	10

Таблиця 4

Ступінь очищення води від хлоридів

№	Жорсткість, мг/дм ³			Хлориди, мг/дм ³		
	вихідна вода	очищена вода	стічна вода очищена, %	вихідна вода	очищена вода	стічна вода очищена, %
1	5,525	1,575	71,49	53,54	15,54	70,97
2	5,525	1,675	69,68	53,54	25,91	51,61
3	5,525	0,8	85,52	53,54	8,64	83,86

Таблиця 5

Ступінь очищення води від сухого залишку

№	Жорсткість, мг/дм ³			Сухий залишок, г/дм ³		
	вихідна вода	очищена вода	стічна вода очищена, %	вихідна вода	очищена вода	стічна вода очищена, %
1	5,525	1,575	71,49	892	564	36,77
2	5,525	1,675	69,68	892	326	63,45
3	5,525	0,8	85,52	892	220	75,34

Таблиця 6

Ступінь очищення води від органічних домішок

№	Жорсткість, мг/дм ³			ХСК, мгО ₂ /дм ³		
	вихідна вода	очищена вода	стічна вода очищена, %	вихідна вода	очищена вода	стічна вода очищена, %
1	5,525	1,575	71,49	81	65	35
2	5,525	1,675	69,68	81	50	50
3	5,525	0,8	85,52	81	40	60

дення досліджу, підключається джерело живлення. Під час проведення дослідження змінюються параметри: сила струму, об'єм відібраної проби, швидкість витікання води, час проведення досліджу. Відібрані проби відстоюються протягом 2-х годин, фільтруються крізь фільтр «синя стрічка» та аналізуються на вміст хлоридів, визначається жорсткість, сухий залишок та ХСК за стандартними методиками [14]. З метою видалення грубодисперсних речовин, досліджувану воду попередньо фільтрують крізь паперовий складчастий фільтр. Попереднє очищення води, склад якої представлено в таблиці 1, проводили за такими технологічними параметрами: густина струму 1,0-1,5 А/дм², затрати електроенергії відповідно дослідів (в кВт·год/м³): дослід №1 – 2,5; дослід №2 – 3,8; дослід №3 – 5,1. Отримані результати, представлені в таблицях 2–6 та рис. 3–4.

На розчинних залізних катодах та анодах спостерігається більш повний ступінь очищення від іонів важких металів у кінцевій воді, ніж на ОРТ-анодах.

У табл. 3 вихідні дані проб: жорсткість = 5,525 мг-екв./дм³; сухий залишок = 892 г/дм³; хлориди = 53,54 г/дм³; ХСК = 81 мгО₂/дм³; рН = 6,4.

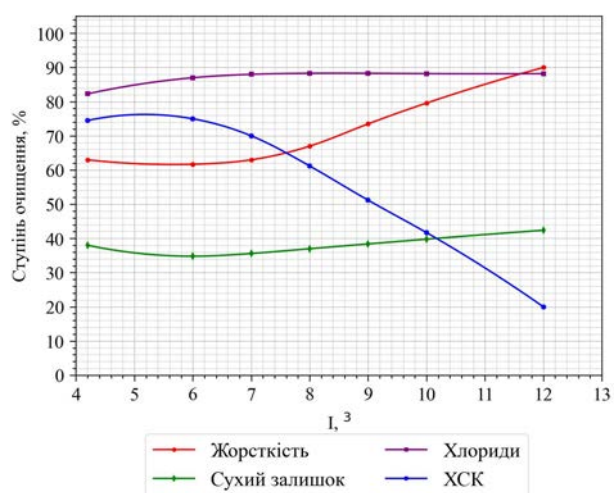


Рис. 3. Залежність ступеня очищення води від сили струму

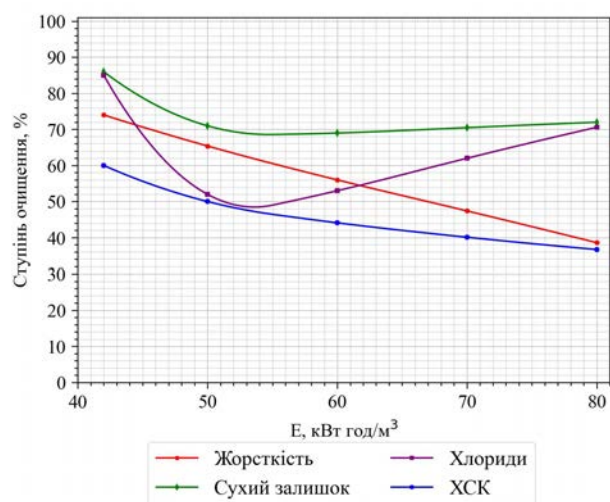


Рис. 4. Залежність ступеня очищення води від спожитої електроенергії (обґрунтування оптимальних умов ведення процесу)

Отримані практичні результати свідчать, що застосування методу електроактивації води сприяє досягненню високого ступеня очищення річкової води.

Висновки.

1. У процесі електрохімічної активації відбувається значне очищення води від іонів важких металів, мікроорганізмів та органічних сполук.

2. Розроблено ресурсозберігальну технологію інтенсифікації процесів очищення природних вод за допомогою електроактивації шляхом отримання католіту та аноліту.

3. Розроблена установка безперервної дії з регулюванням параметрів енергозатрат.

4. Отримані експериментальні дані, що підтверджують ефективність очищення природної води методом електроактивації.

5. Визначено, що на розчинних залізних катодах та анодах спостерігається більш повна ступінь очищення води від іонів важких металів у кінцевій воді, ніж на ОРТ-анодах.

6. На ОРТ-анодах спостерігається практично повне очищення від мікроорганізмів.

7. Пропонується двоступінчаста електроактиваційна обробка води: спочатку на залізних анодах, а потім на ОРТ-анодах.

8. Для отримання показників, які б відповідали стандартам та вимогам питної води, після первинного процесу електроактиваційного очищення доцільно використовувати вторинний етап очищення за існуючою технологією водопідготовки.

9. Застосування попередньої стадії електроактивації в 2-3 рази знижує вміст важких металів та хлоропідних у питній воді.

Список літератури:

- Costa J. M. Considerations on Electrochemical Technologies for Water Purification and Wastewater Treatment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. Vol. 20 (12). P. 61–76. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph20126140>.
- Гончарук В. В. Хімія і технологія води. К.: Наукова думка, 1994. – т. 14, № 8, 467 с.
- Водний кодекс України, № 213/95-ВР. Київ, 1995, доповнення 2024. С. 1–45. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення: 10.08.2025).
- Романенко Н. Г. Фізико-хімічні основи застосування електроактивованих водних систем в технологіях опорядження текстильних матеріалів. Дис. докт. техн. наук. Херсон, 2003. 374 с.
- Device for electroactivization of fluids: pat. US5307235A United States: A61L9/22; Application 23.03.1992; Publication 26.04.1994. URL: <https://patents.google.com/patent/US5307235A/en> (дата звернення: 01.08.2025).
- Ромашенко М.І., Конаков Б.І., Поліщук В.В., Усатий С.В. Електрохімічно активована вода (EXAB): історія відкриття, специфіка процесу, сучасний стан та перспективи її застосування при зрошенні. *Меліорація та водне господарство*. 2021. № 2. С. 177–189. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202102-291>.
- Діхтяренко М. Г. Створення безаміачної технології пігментного друку текстильних матеріалів із використанням електроактивованих водних систем. Автореф. дис. канд. наук. Херсон, 2008. 24с.
- Гузій С., Лук'янова В., Ніколенко В., Пугач О., Возинщик А., Машкіна І., Носенко Т. Застосування електролізно-мембранних технологій для очищення слабоактивних радіоактивних вод. V Міжнародна науково-практична конференція «Перспективи майбутнього та реалії сьогодення в технологіях водопідготовки». Київ, НУХТ, 2024. С. 112–114.
- Guzii S., Arkhypenko O., Odukalets L., Prysiazna, O. Magnetite-ferrocyanide-copper sorbents for recovery of cesium ions from low-activity liquid radioactive waters. *Material Science & Engineering International Journal*. 2024. Vol. 8 (1). P. 15–18. DOI: 10.15406/mseij.2024.08.00230.
- Iosifov V. P., Melikov A. V., Matveev A. I., Shchukina V. N. The water electric activation method with a part of energy concentrated in its flow. IOP Conference Series: Earth and Environmental Scienc. *Mathematical Modeling of Technical and Economic Systems in Agriculture*. 2021. Vol. 1069. P. 1–5. DOI 10.1088/1755-1315/1069/1/012007. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1069/1/012007/pdf>.

11. Reimanis M., Mezule L., Ozolins J., Malers J., Juhna T. Drinking Water Disinfection with Electrolysis. *Latvian Journal of Chemistry*. 2013. Vol. 51 (4). P. 296–304. DOI: 10.2478/v10161-012-0016-9.
12. Козоріз І. А., Столяренко Г. С., Тупицький Б. І. Очищення підземних вод методом електроактивації. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2017. № 2. С. 25-32.
13. Device for electroactivating fluids and preparations consisting of electroactivated fluids: pat. AU5846590A Australia: C02F1/4618; Application 13.06.1990; Publication 08.01.1991. URL: <https://patents.google.com/patent/AU5846590A/en> (дата звернення: 01.08.2025).
14. Солодовнік Т. В. Аналітична хімія: практикум: навч. посіб. М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Вид. 2-ге, доп. Черкаси: видавець Гордієнко Є.І, 2020. 308 с. URL: <https://er.chdtu.edu.ua/handle/ChSTU/1005> (дата звернення: 15.07.2025).

Stoliarenko H.S., Koval M.G., Fomina N.M. ELECTROACTIVATION AS A RESOURCE-SAVING METHOD IN SURFACE WATER TREATMENT TECHNOLOGY AT THE WATER PREPARATION STAGE

One of the most valuable treasures that nature has given us is water. The water used in agriculture and industry is heavily polluted. It accumulates organic and mineral substances, which are becoming increasingly difficult and expensive to remove. Therefore, any research aimed at reducing toxic and chemically harmful ingredients in industrial wastewater and natural water, and creating resource-saving water purification technologies, is extremely relevant and justifies its costs.

The article is devoted to the electrochemical method of water treatment, which occupies an important place among other methods of natural and wastewater treatment, allowing the use of chemical reagents to be abandoned.

The article highlights the problem of water pollution in the Ros River in the Cherkasy region, the quality of which has been confirmed by studies showing excessive levels of petroleum products, organic compounds, pesticides and heavy metals, which is the result of the discharge of insufficiently treated wastewater into the river. In the article, the authors highlight the creation of a resource-saving technology for intensifying natural water purification processes using electroactivation by obtaining catholyte and anolyte.

The article discusses the purification of river water from organic impurities and heavy metal ions by electroactivation at minimum current strength on iron cathodes and iron and titanium anodes; the maximum degree of purification is determined and the optimal conditions for conducting the process are substantiated. The authors have developed a continuous-action water electroactivation unit with energy consumption parameter control. It has been determined that the use of soluble iron cathodes and anodes for the electrolysis process provides a degree of water purification from heavy metal ions within the range of 48-68%, while when using titanium (OPT) anodes, this water purification rate is 7-34%. It has been determined that two-stage electroactivation treatment of water reduces the content of heavy metals and chlorine derivatives in drinking water by 2-3 times. It has been found that titanium anodes provide almost complete purification from microorganisms. The feasibility of using a secondary stage of water purification using existing water treatment technology to obtain indicators that meet drinking water standards and requirements has been established.

Key words: surface water; preliminary treatment stage, water electroactivation unit, optimal process conditions, degree of purification.

Дата надходження статті: 24.09.2025

Дата прийняття статті: 19.10.2025

Опубліковано: 16.12.2025