https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj31-01-057
DOI: 10.30888/2663-5712.2025-31-01-057

УДК 628.3:621.311.2

TREATMENT OF WASTEWATER FROM THERMAL POWER PLANTS AND THE EVALUATION OF A PHYSICO-ELECTROCHEMICAL PURIFICATION METHOD

ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА АПРОБАЦІЯ ФІЗИКО-ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО МЕТОДУ ОЧИСТКИ

Tychkovskyi S.I. / Тичковський С.І.
postgraduate student / аспірант.
Chelyadyn L.I. / Челядин Л.І.
d.t.s., prof. / д.т.н., проф.
ORCID: 0000-0003-3360-7274
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
Ivano-Frankivsk, Karpatska, 15, 76019
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
Івано-Франківськ, Карпатська, 15, 76019

Анотація. *Приведено характеристику стічних вод, а також технологій та обладнання для їх очищення, які встановлені на ТЕС, допустимих концентрацій шкідливих речовин, характерних для енергетичної галузі перед скиданням у водойми. Склад перерахованих стоків різний та визначається типом теплових електростанцій (ТЕС) та основного обладнання, видом палива, складом вихідної води, способом водопідготовки. Проведено апробаційні дослідження з очищення обмивальних стоків з гідрозолоуловлювача за фізико-електрохімічною технологією. Встановлено підвищення ступеня очищення стоків фізико-електрохімічною очисткою до 91,2-95,2% за показником ХСК.*

Ключові слова: *стічні води, фізико-електрохімічна очистка, ступінь очищення.*

Вступ.

Антропогенна міграція хімічних елементів стала основним фактором зміни навколишнього середовища. Надходження хімічних елементів в навколишнє середовище більше ніж у 100 разів перевищує природний процес.

В зв’язку із збільшенням виробництва електроенергії, добування й переробки нафти, газу й вугілля, виробництва металів, цементу, добрив та інших продуктів хімічної промисловості, атмосфера забруднюється швидкими темпами. Щорічно в світі спалюється 7 млрд. тон умовного палива промисловими, енергетичними та іншими об’єктами [1], комплексами, та викидається понад мільярд тонн зважених і газоподібних домішок, що завдають екологічних збитків довкіллю та економічних втрат суспільству. За останні 100 років в атмосферу потрапило 1 млн. тон кремнію; 1,5 млн. тон миш'яку; 0,9 млн.

тон кобальту та багато інших шкідливих речовин. Зараз в атмосфері знаходиться майже 20 млн. тон зважених частинок. Значна забрудненість атмосфери приводить до збільшення захворювань людей та зниження біологічної активності флори й фауни. Найефективнішим методом захисту повітряного басейну від забруднення шкідливими речовинами є впровадження перспективних безвідходних ресурсо-енергозберігаючих технологічних процесів із замкнутими виробничими циклами. Такі технології дозволяють виключити або суттєво знизити викиди шкідливих речовин в атмосферу. Однак це не завжди технологічно можливо й економічно доцільно. Тому для більшості підприємств очищення газів є одним із заходів захисту атмосферного повітря від забруднення. Для виробництва електроенергії потрібна величезна кількість води для використання практично на кожному етапі процесу, від систем живлення котла до охолоджувальних конденсаторів і підшипників до скруберів забруднюючих речовин. Чиста вода важлива не тільки при прийомі, але і при відході. Законодавство продовжує розвиватися, посилюючи обмеження та зміщуючи попит у бік нульового скидання рідини. Це означає, що інновації в очищенні води для електроенергетики збільшуються.

Згідно з аналізом тенденцій, попит на воду зросте на 55% через зростання населення світу, а попит на електроенергію зросте на 45 трлн кВт-год, або приблизно на 44% більше, ніж у 2018 році. Це створює дилему, коли електростанції залежать від води для виробництва чистої енергії. Відповідь – передова технологія в поєднанні з досвідом, щоб знайти розумніші, чистіші способи збереження та переробки води, щоб задовольнити потреби в електроенергії для електронного світу, який стає все більш пов’язаним.

Виробництво електроенергії є одним з найбільших промислових споживачів води, більшість води використовується для охолодження на місці. Поряд з охолоджувальною водою, котли та системи десульфуризації димових газів (FGD) або системи мокрого очищення також сприяють загальному використанню води. Через великий обсяг необхідної води електростанції зазвичай розташовують поблизу природних джерел води, таких як річки, де вони

можуть забирати воду в станцію для використання. Неочищена або недостатньо очищена вода може сприяти ерозії та пошкодженню обладнання для виробництва пари. Неадекватно очищені викиди стічних вод можуть порушувати екологічні норми. Завдяки передовим технологіям нові рішення революціонізують спосіб очищення, переробки та повторного використання води для виробництва чистої відновлюваної енергії.

Системи водопідготовки – це важливий елемент будь-якого підприємства у сфері енергетики, оскільки саме якість води, що використовується, безпосередньо впливає на довговічність і продуктивність роботи .

Основний текст.

На підприємствах ТЕС, вода після охолодження конденсаторів турбін і охолоджувачів повітря зазвичай несе так звані теплові забруднення, оскільки її температура на 8-10 ºС вище температури води у вододжерелі. У деяких випадках вода що охолоджує, може привносити в природні водойми сторонні речовини. Для зниження рівня забруднення ґрунту та ґрунтових вод на теплових електростанціях були побудовані локальні очисні споруди.

Другий спосіб зниження рівня забруднення полягає в зборі стічних вод у спеціально створені ємності з подальшим очищенням за допомогою відстійників і фільтрів, в яких як фільтруючий матеріал використовується антрацит або активоване вугілля.

У сучасному світі проблема забруднення стічних вод є однією з найбільш актуальних та складних для вирішення. Для збереження екологічної стійкості та зменшення впливу на природне середовище виникає потреба в розвитку та впровадженні нових методів очищення стічних вод.

Паралельно з очищенням води виникає питання зменшення відходів, зокрема шламів водоочищення та золи, які утворюються в процесі. Їхнє ефективне перероблення може стати додатковим джерелом корисних ресурсів або енергії, сприяючи зменшенню негативного впливу ТЕС на навколишнє середовище.

Основними методами очищення води є: механічне очищення, хімічні – абсорбційне та адсорбційне очищення, ультразвукове, осмотична очистка, магнітне очищення, а також електричні, які включають процеси електрокоагуляції, електрофлотації [2]. Електрохімічне очищення використовує електричний струм для іонізації розчину, що може допомогти розчинити тверді відкладення на металевих поверхнях трубопроводів та обладнання і утворювати коагуляційні та флотаційні хімічні сполуки .

У іноземній публікації [3] проаналізовано декілька технологій очищення стічних вод, що включають фізичні, хімічні та біологічні методи. Наведено сучасний стан різних існуючих методів очищення стічних вод та їхні обмеження. Виділено недоліки різноманітних наявних технологій очищення стічних вод та сучасні тенденції у сфері очищення стічних вод.

Стічні води, які містять мінеральні кислоти або луги, перед їх скиданням у природні водойми або перед повторним використанням у технологічних процесах піддають нейтралізації. Практично нейтральними вважаються води які мають значення pH 6,5-8,5. Для нейтралізації кислотних вод використовують сполуки основного характеру, а нейтралізації лужних вод – кислотного характеру. Вибір методу нейтралізації залежить від об'єму і концентрації стічних вод, а також від способу їх утворення, наявності і вартості реагентів. При реалізації заходів з нейтралізації стічних вод з утворенням осадів слід враховувати їх характер, токсичність та можливі варіанти їх застосування в подальшому.

В ІТТФ Національної академії наук [4], розроблено багатоцільову аераційно-окислювальну установку (АОРТ) роторного типу, що працює за методом дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ). Ця установка дозволяє прискорити швидкість тепло- та масообміну хімічних реакцій у воді та водних системах на 25-30 %. Це дає можливість скоротити тривалість процесів очищення, знизити енергоспоживання у 2-3 рази та витрати реагентів на 20-25 %. Установка АОРТ використовується для очищення стічних вод від заліза, марганцю, сірководню, вуглекислого газу, сульфатів та нітратів.

В університеті розроблено технологію і локальну установку очищення стічних вод різних об'єктів, а також фільтрату полігонів ТПВ за технологією, яка включає процеси фізико-електрохімічного очищення з використанням ефективного устаткування [5]. Застосування відповідного методу очищення води залежить від конкретних умов експлуатації, складу води та особливостей обладнання ТЕС. Комбінація різних методів може бути використана для досягнення оптимальних результатів.

За даними державної статистичної звітності за ф. 2-ТП [6] в 2022 р. господарствами та населенням області забрано 76,038 млн.м3 води, в т.ч. з поверхневих водойм – 70,049 млн.м3 , з підземних джерел – 5,990 млн.м3 води. Порівняно з 2021 роком забір води зменшився на 14,999 млн.м3 . У 2022 році у поверхневі водні об'єкти області скинуто 55,048 млн.м3 , зворотних (стічних) вод, що на 9,09 % менше, ніж у 2021 році.

Перелік забруднюючих речовин і фактична середня концентрація, мг/дм3: завислі речовини 14,607; сульфати 250; хлориди 30; БСК5 1,53; ХСК 26,36; нафтопродукти 0,25.

Для ефективного очищення стічних вод ТЕС проведено апробаційні дослідження очищення фізико-електрохімічним методом.

Процес обробки водних середовищ у запропонованому електропристрої [7] відбувається наступним чином. Стічна вода поступає в міжелектродний простір та піддається за певної напруги, що подається на електроди, обробці при різній щільності струму за рахунок зміни відстані між електродами і площі їх поверхні. Такий пристрій дає змогу змінювати заряд часток забруднень, що спричиняє їх злипання, а деякі розчинні забруднення перетворюються у тверді нерозчинні, які відділяються потім у відстійнику чи іншому апараті, наприклад фільтрі. Показники стічної води визначали згідно зі стандартними методиками, зокрема ХСК згідно з [8].

Дослідження проводили на лабораторній установці за методикою, що описана нижче, а схема установки приведена на рисунок 1.

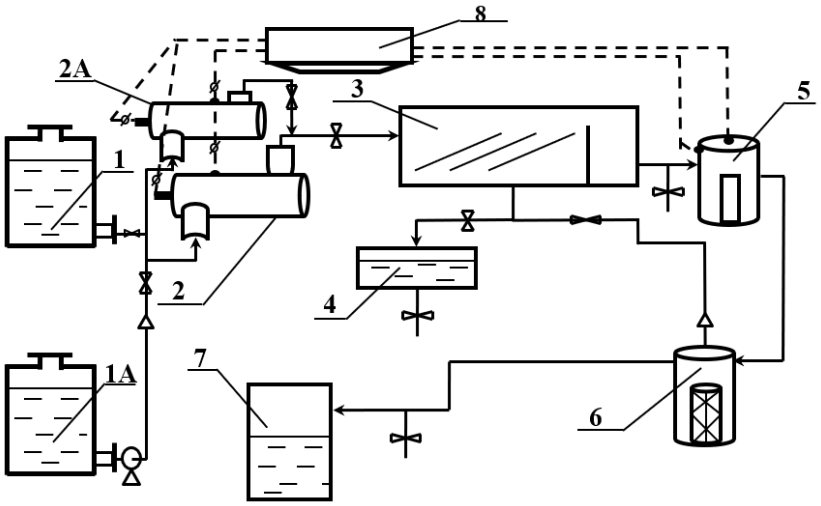

Рисунок 1 - Схема лабораторної установки з очищення стічних вод: ємність (1, 1А) для стічної води, електропристрій-1 (2, 2А), відстійник з похилими площинами (3), ємність збору шламу водоочищення (4), електропристрій-2 (5), фільтр-адсорбер (6), ємність для збору очищеної води (7), джерело струму (8) з випрямлячем.

Джерело: [7]

Очищення стічних вод від завислих відбувається у відстійнику з похилими площинами в якому легкі зависі піднімаються у верхню частину відстійника за рахунок газів електролізу, які утворюються при електрообробці стічної води в (2) і збираються з поверхні води відвідним жолобом у ємність збору шламу водоочищення (4), а середні і важкі зависі після контакту з похилою площиною сповзають до нижнього жолобу та поступають у ємність (4). З кінцевої частини ВПП частково очищені стоки протікають через другий електропристрій-2 (5), де відбувається окиснення розчинних забруднень.

Результати очищення стічних вод від завислих за допомогою попередньої обробки в електропристрої-1 перед горизонтальним відстійником з похилими площинами (ПП) з попередньою електрообробкою 12-24в наведені у таблиці 1.

На основі вище приведених результатів досліджень, встановлено, що електрообробка стічних вод перед протіканням їх через тонкошаровий відстійник впливає на ступінь очищення стічних вод, оскільки утворені мікробульбашки оксигену та гідрогену флотують н/п у верхню частину відстійника, де вони з

поверхні води відділяються перед переливом на гребні. Зміна кута нахилу похилих площин у тонкошаровому відстійнику, який виставляли під різним кутом нахилу впливає на вміст завислих наступним чином: за кута нахилу похилих площин 30° – 84,1-89,9 %, 45° – 82,7-89,5 % і 60° – 81,5-88,2%. Це можливо пояснити гідродинамікою потоку води, оскільки за меншого кута нахилу площини завислі не встигають сповзти вниз для виходу у шламонакопичувач, а частково змиваються з пластини потоком води, що збільшує їх кількість після відстійника.

Таблиця 1 – Показники очищення обмивальних стічних вод ТЕС

Показники Проба стічної води	Показники стічних вод до очищення, мг/дм^3			Показники стічних вод після очищення, мг/дм^3			Ступінь очищення ,%	
	pH	Завислі	ХСК	pH	Завислі	ХСК	Завислі	ХСК
1	7,2	14,6	26,3	7,1	2,36	5,5	76,9	79,1
3	7,1	11,4	21,5	7,4	2,14	1,9	82,0	91,2
5	7,2	14,6	26,3	7,3	1,05	1,5	89,1	94,3
7	7,3	12,5	25,4	7,1	1,13	1,2	90,9	95,2
9	7,2	15,6	28.1	7,2	1,5	2,5	88,3	94,6

Авторська розробка

Встановлено, що якість стічних вод підвищується за показником ХСК внаслідок зменшення в них шкідливих компонентів, які відділяються при електрофлотації на І етапі очищення та електроокислення розчинних токсичних компонентів на ІІ етапі, що впливає на узагальнений показник ХСК, який вказує на забруднення стічної води.

Для підвищення ефективності запропонованої технології планується провести дослідження і розробити автоматизацію фізико-електрохімічною процесу очищення стічних вод.

Висновки.

1. Очищення стічних вод поглинальним розчином на теплових електростанціях (ТЕС) є недостатньо ефективним методом для зменшення забруднення стоків, що впливає на навколишнє середовище.

2. Показник ХСК при очищенні стічних вод за фізико-електрохімічною технологією складає 91,2-95,2%, оскільки зменшується вміст завислих та інших забруднень.

Література:

1. Статистичний збірник «Довкілля України за 2024рік», – Київ, 2025. –226 с.

2.Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / Запольський А.К., Мішкова-Клименко Н.А. та ін. – К.: Лібра, 2000. – 552 с.

3. Nishat, A., Yusuf, M., Qadir, A., Ezaier, Y., Vambol, V., Khan, M. I., ... & Eldin, S. M. (2023). Wastewater treatment: A short assessment on available techniques. *Alexandria Engineering Journal*, 76, 505-516.

4.Очищення стічних вод теплоелектростанцій (ТЕС) / О. М. Ободович, В. В. Сидоренко, Ю. В. Булій, О. Є. Степаненко // Теплофізика та теплоенергетика. – 2023. – Т. 45, № 2. – С. 69-76.

5. Chelyadyn, L., Kostyshn, V., Chelyadyn, V., Romanyshyn, T., & Vasechko, V. (2020). Wastewater purification technology by two-stage treatment in electrical device of a compact local installation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(10-105), 63-70.

6. Статистична звітність об'єкта ЗАТ «Бурштинська ТЕС» за формою «2-ТП водгосп» «2-ТП повітря», за 2020-2024 рр.

7. Патент на корисну модель №145961 Україна МПК) C02F1 1/461(2006.01 / Електропристрій обробки водного середовища Челядин. Романишин Л.І., Челядин В.Л.; Лютак І.З., Васечко В.Б Романишин Л.І., Челядин В.Л.; Лютак І.З., Васечко В.Б; заявл. 09.06.2020; 13. 01.2021. Бюл. № 2 – 3.

8. Якість води. Визначення хімічної потреби в кисні (ISO 6060: 1989, IDT): ДСТУ ISO 6060: 2003. - [Чинний 2003-10-06].

Abstract. *The characteristics of wastewater, as well as the technologies and equipment used for its treatment at thermal power plants (TPPs), are presented. The permissible concentrations of harmful substances typical for the energy sector before discharge into water bodies are outlined. The composition of the listed wastewater varies and depends on the type of thermal power plant, the main equipment, the type of fuel used, the composition of the source water, and the water treatment method. Pilot studies were conducted on the treatment of water from a hydraulic ash collector using a physico-electrochemical technology. It was found that the degree of wastewater purification using physico-electrochemical treatment increased to 91,2-95,2% based on the COD (Chemical Oxygen Demand) indicator.*

Keywords: *wastewater, physico-electrochemical treatment, purification degree.*

Науковий керівник: д.т.н., проф. Челядин Л.І.

Статтю надіслано: 24.05.2025 р.

© Тичковський С.І.