

УДК 502.51(28):502.171:502.14

<https://doi.org/10.31073/ecobezpeka202406-02>

## КРИТЕРІЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД В УКРАЇНІ

Маркіна Л. М.<sup>1</sup> Власенко О. В.<sup>1</sup>

Копаниця О. Б.<sup>1</sup> Зудіков А. О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління,  
вул. Митрополита Липківського, 35, корп. 2, м. Київ, 03035

*markserg@ukr.net*

*olegvvv@gmail.com*

<sup>2</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,  
проспект Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, 49005

Інтенсивний розвиток промисловості обумовлює потребу у мінімізації негативного впливу виробничих стічних вод на водні ресурси. Через значну різноманітність складу, властивостей і обсягів стічних вод від промислових об'єктів виникає потреба у використанні спеціалізованих методів та споруд для локального, попереднього і повного очищення таких вод. Водний об'єкт може бути багатофакторною екологічною системою, тому у зв'язку з цим порівняння концентрацій поллютантів відповідно до та після проведення промислового водоочищення поки що, лише наближає Україну до встановлення екологічної ефективності.

Актуальність теми полягає у покращенні критеріїв ефективності технологій очищення промислових стічних вод та екологічної ситуації промислових регіонів України. Разом з цим, виникають критерії ефективності та екологічної безпеки у технологіях очищення промислових стічних вод та водопідготовки у зв'язку з підвищенням вимог до промислових підприємств.

Сучасна військова та екологічна ситуація в Україні зумовлює першочергове застосування вугільних сорбентів для водоочищення та водопідготовки. Останнім часом, коло реагентів для вилучення забруднюючих речовин з водного середовища розширюється, з цією метою використовуються вторинні мінеральні ресурси.

Вибір методів дослідження ґрунтується на критеріях ефективності та екологічної безпеки технологій.

Економічна доцільність очищення підвищується при використанні як сорбентів дешевих матеріалів, відходів, серед яких виділяються шлаки різних виробництв. Застосування таких підходів не лише зменшує вартість технологій, але й сприяє повторному використанню промислових відходів, що є додатковим кроком до сталого розвитку.

В оглядовій статті порівнюється використання різних методів очищення промислових стічних вод, наведено критерії ефективності екологічної безпеки та можливості вдосконалення існуючих технологій з урахуванням сучасних викликів.

**Ключові слова:** очисні споруди, знезараження води, хімічні речовини, екологічна безпека, техногенне навантаження, нормативна база, промислові стічні води, надзвичайна ситуація, технології водоочищення.

**Criteria for efficiency and environmental safety of industrial wastewater treatment technologies in Ukraine.** Markina L., Vlasenko O., Kopanytsia O., Zudikov A.

The rapid development of industry necessitates minimizing the negative impact of industrial wastewater on water resources. Due to the significant var-

iability in composition, properties, and volumes of wastewater generated by industrial facilities, specialized methods and treatment structures are required for local, preliminary, and full-scale purification. Since water bodies function as complex, multifactorial ecological systems, merely comparing pollutant concentrations before and after industrial water treatment brings Ukraine only closer to establishing true ecological efficiency.

The relevance of this study lies in improving the criteria for assessing the efficiency of industrial wastewater treatment technologies and enhancing the environmental conditions of Ukraine's industrial regions. At the same time, stricter environmental regulations for industrial enterprises demand the development of new efficiency and safety criteria for both wastewater treatment and water purification technologies.

Given Ukraine's current military and environmental situation, the use of carbon-based sorbents for water treatment and purification has become a priority. Recently, the range of reagents used for pollutant removal from aquatic environments has expanded, incorporating secondary mineral resources. The selection of research methods is guided by the criteria of technological efficiency and environmental safety.

The economic feasibility of wastewater treatment improves when cost-effective sorbents, including industrial by-products such as slags from various production processes, are utilized. This approach not only reduces the cost of treatment technologies but also promotes the reuse of industrial waste, aligning with the principles of sustainable development.

This review article compares various industrial wastewater treatment methods, presents criteria for evaluating environmental safety and efficiency, and explores opportunities for improving existing technologies in response to contemporary challenges.

**Keywords:** wastewater treatment facilities, water disinfection, chemical pollutants, environmental safety, anthropogenic impact, regulatory framework, industrial wastewater, emergency situations, water treatment technologies.

## Постановка проблеми

Стан довкілля в Україні характеризується значним антропогенним впливом, який спричиняє серйозні загрози природному середовищу. У багатьох регіонах екологічна ситуація є кризовою, а окремі території офіційно визнані зонами екологічного лиха. До цього призвели тривалі

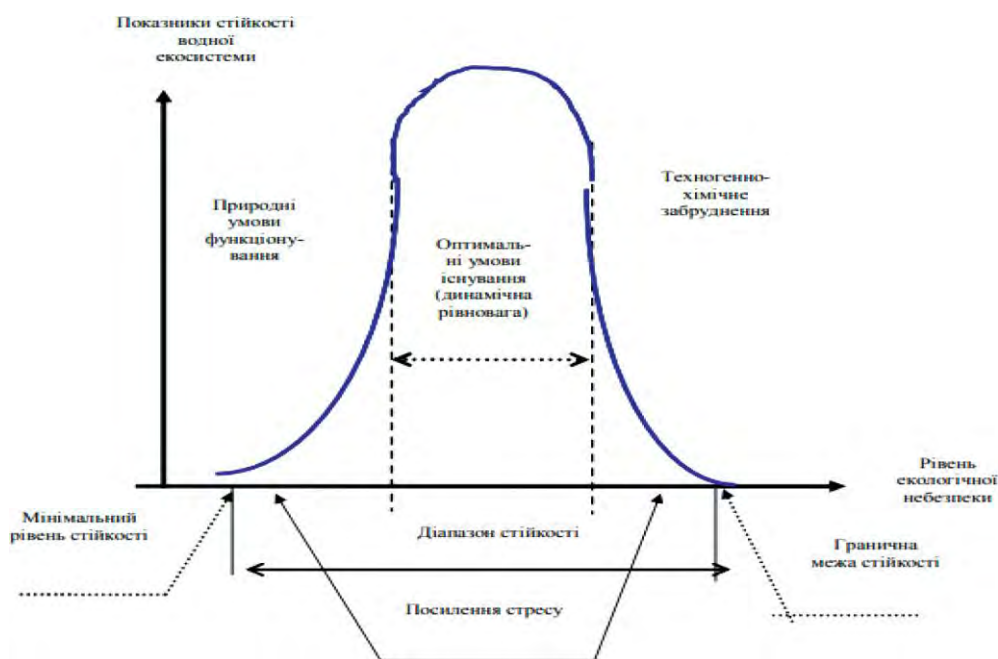


Рисунок 1. Існування водних екосистем в умовах техногенно-хімічного забруднення поверхневих природних вод

військові дії зі сторони росії, безвідповідальне використання природних ресурсів, застарілі технологічні процеси, відсутність сучасного обладнання для очищення стічних вод, масове накопичення відходів та низький рівень екологічної культури серед працівників промислових підприємств. Водночас завдяки підтримці Європейського Союзу зокрема, у вигляді фінансування та регулярного моніторингу, в деяких регіонах вдалося досягти певних позитивних змін. Це стосується покращення умов у місцях накопичення та зберігання металургійних шлаків, а також та підвищення рівня екологічної безпеки за рахунок впровадження інноваційних технологій очищення, які сприяють зменшенню обсягів забруднених стоків. Успіх цих заходів демонструє важливість комплексного підходу до вирішення екологічних проблем, який включає як технологічну модернізацію, так і посилення екологічної відповідальності (рис. 1). В сфері очищення стічних вод таким напрямком є розроблення водовідвідних систем з мінімальним скиданням стічних вод у водний об'єкт або без скидання – безстічні [1].

Побудова інтелектуальних систем очищення води, споруд очищення є необхідним рішенням для їх екологічно безпечного функціонування при цьому техніко-економічне обґрунтування промислового використання таких програмно-апаратних комплексів полягає у зменшенні витрат на використання ресурсів у штатному режимі (електроенергія, реагенти) та недопущення нештатних ситуацій.

### **Методологічне або загальнонаукове значення**

Для здійснення дослідження було використано такі методи: систематизація матеріалу, наукового узагальнення, порівняння. Вони дозволили виявити та усвідомити просторову диференціацію та різноманітність факторів, що надають вплив на критерії ефективності та екологічної безпеки технологій очищення стічних промислових вод.

**Мета статті** – забезпечити екологічну безпеку шляхом мінімізації накопичення промислових стічних вод та використання різних ефективних

речовин і техногенної сировини в технологіях очищення промислових стічних вод від органічних забруднювачів.

### **Актуальність дослідження**

Для успішного вирішення поставлених завдань необхідне знання фізико-хімічних технологічних процесів очищення стічних вод. Одним з перспективних способів очищення води є сорбційна технологія. Сорбційний метод вирізняється високою ефективністю, яка становить 85-95%, здатністю очищувати воду від різноманітних забруднень, збереженням стабільної сорбційної ємності сорбенту та можливістю його відновлення, що дозволяє забезпечити циклічний характер роботи. Важливими характеристиками сорбції є: швидкість процесу та її залежність від температури, ізотерма сорбції, природа взаємодії між сорбатом та сорбентом, орієнтація сорбованих молекул на міжфазному кордоні.

Економічна доцільність сорбційного очищення підвищується при використанні як сорбентів дешевих матеріалів, відходів, серед яких виділяються шлаки різних виробництв [2]. У літературі є відомості про вивчення сорбційних характеристик природних сорбентів та промислових відходів різного походження щодо неорганічних та органічних забруднювачів при очищенні промислових стічних вод [3–4]. Рентабельність використання металургійних шлаків досягається за рахунок застосування їх як сорбентів. Сорбційно-активні техногенні матеріали мають велике значення для промислової екології при очищенні стічних вод від мінеральних забруднювачів [5].

### **Основні методи очищення стічних вод:**

1. *Механічні (фізичні)*: передбачають використання таких процесів, як фільтрація, відстоювання, гідроциклонування тощо.
2. *Хімічні*: засновані на застосуванні хімічних реагентів, які вводяться у водні розчини для виконання процесів, як-от: флокуляція, коагуляція, хлорування тощо.
3. *Фізико-хімічні*: включають технології електрокоагуляції, електрофлотації, окислення, флокуляції, іонообміну, коагуляції та сорбції.

Таблиця 1

## Загальне порівняння різних способів очищення стічних вод

Методи очищення стічної води	Вартість очищення 1 м <sup>3</sup> , грн	Оцінка ефективність вилучення неорганічних забруднювачів	Оцінка ефективність вилучення органічних забруднювачів
Механічним	1,5 – 10,0	Низька	Низька
Фізико-хімічним	5,00 – 100,00	Висока	Середня
Хімічним	8,00 – 600,00	Висока	Висока
Біологічним	5,0 – 80,00	Низька	Висока

4. *Біологічні*: здійснюються за допомогою мікроорганізмів, що проводять біологічне окислення, наприклад, у системах аеротенків чи біологічних ставків.

5. *Комбіновані*: поєднують способи очищення для усунення як органічних, так і неорганічних забруднень (табл.1) [6, 7].

### Виклад основного матеріалу

Наразі практично єдиним способом, що дозволяє очищати промислові стічні води від нафто- та мастильних матеріалів до рівня ГДК незалежно від їхньої хімічної стійкості та без внесення у воду будь-яких вторинних забруднень є сорбція. Цей безінерційний рівноважний процес успішно використовується як при нормальній експлуатації у виробничих умовах, а також при ліквідації аварій. У зв'язку з цим є актуальним правильний вибір сорбційного матеріалу для вирішення конкретних виробничих завдань для очищення вод від неорганічних та органічних сполук.

Для підвищення ефективності сорбції з води органічних забруднювачів розробляються нові види вуглецевих сорбентів. Для очищення води від фенолу рекомендується застосовувати вугільний ентеросорбент, що довів високу ефективність сорбції у статичному та динамічному режимах роботи з мінімальним часом повного поглинання фенолу 15 с. У роботі [8] показано можливість промислового виробництва та застосування термічно модифікованого дефекату – обпаленого відходу цукрової промисловості,

для очищення стічних вод від нафтопродуктів та інших органічних компонентів.

Шлаки сталеливарного виробництва можуть сорбувати зі стічних вод іони  $Pb^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NH_4^+$ , знижувати величину БПК<sub>5</sub> та ГПК. Запропонована попередня солянокислотна активація електросталеплавильного шлаку та розроблені рекомендації щодо використання отриманого після сорбції осаду як мікродобрива. Доведено що, можливість сорбції іонів хрому сталеплавильним пилом [9]. Окалина від прокатки сталі є високоефективним сорбентом для іонів міді. Розроблена сорбційна технологія вилучення міді зі стічних вод гранульованими піритними недогарками [10,11]. Внаслідок сорбції отримано концентрат містить 4,5% міді, що дозволяє використовувати його у виробництві міді. Очевидно, що в теперішніх екологічних умовах потрібно докорінно змінити функціональну схему підприємств. Вона мусить протидіяти надзвичайним ситуаціям (рис. 2) [12].

Запропоновано використовувати отриманий адсорбент для очищення стоків кольорової металургії та для іммобілізації радіонуклідів. Розглянута можливість створення системи очищення стоків підприємств кольорової металургії від катіонів Ni, Cu, з використанням сорбентів на основі металургійних шлаків цих підприємств [13]. Показано, що відпрацьований сорбент, що містить до 5,0–5,5% кольорових металів (Ni, Cu, Co), може використовуватися як сировина в рудно-термічних печах; ступінь вилучення нікелю становить 99,9%, а запропоноване технічне рішення дозволить організувати частково замкне-

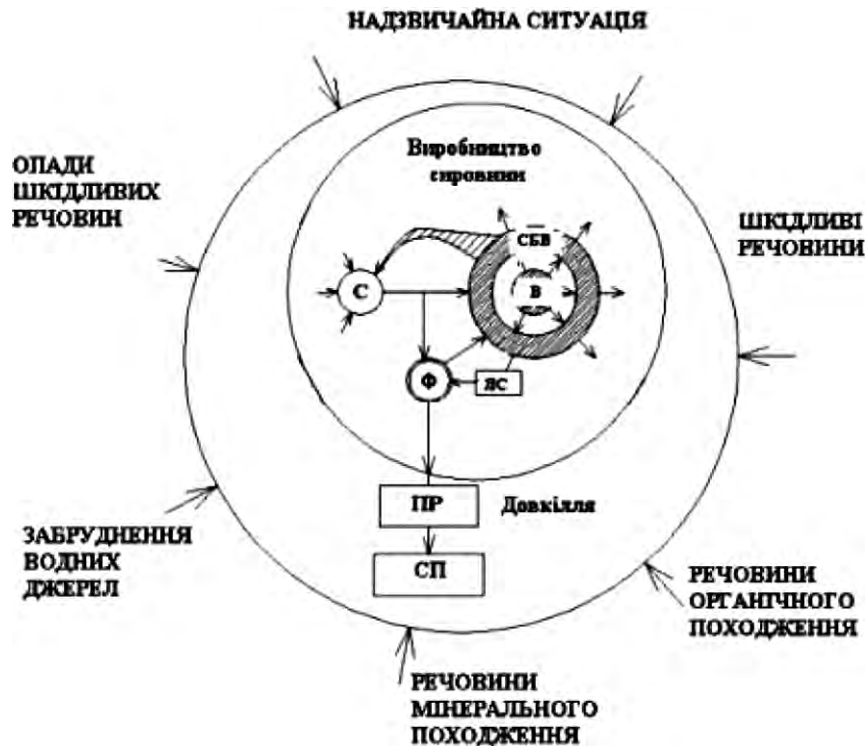


Рисунок 2. Екологічно безпечні схеми запобігання дії надзвичайних ситуацій, на підприємствах за каналом «водопостачання»

ний цикл сировини. Технологічна реалізація процесів водоочищення проходить згідно нормативно правових документів та порівнюється з ЄС (табл. 2).

Авторами роботи [14] досліджено фільтруючі завантаження з використанням шлакового гравію з переважним вмістом кремнію. Для досліджень використовували воду першого відстійника міських очисних споруд. Вміст завислих речовин у перші години фільтрації зменшується вдвічі, надалі ступінь очищення збільшується до 85,3%. Вміст хлоридів зменшується з 125 до 78,3, хрому – з 0,49 до 0,06, фосфатів – з 2,34 до 1,26 мг/дм<sup>3</sup> здійснюється подачею зверху 10 дм<sup>3</sup> очищеної води в кожну колону. Розроблено [15] адсорбційно-активні матеріали, що синтезуються за технології твердіючих мінеральних дисперсій – магнезіально-залізисті сорбенти (МЗС-сорбенти) на основі магнезіально-залізистих шлаків підприємств кольорової металургії для очищення технологічних стоків рідких радіоактивних відходів з наступною іммобілізацією. Досліджено вплив сольового фону та концентрації <sup>134</sup>Cs у рідких радіоактивних відходах на сорбційні характеристики МЗС-сорбенту. Встановлено,

що при низькому сольовому тлі зміна концентрації цезію у встановлених межах (від 0,052 до 1 мг/дм<sup>3</sup>) не впливає на ступінь його вилучення з розчинів і вона становить 97–95%. Меншою мірою цезій сорбується з морської води (ступінь мінералізації 42,8 г/дм<sup>3</sup>, концентрація цезію 0,12 мг/дм<sup>3</sup>) рівновага настає. Сполуки важких металів, які стічні води гальванічного виробництва виносять у процесі роботи, вкрай негативно впливають на екосистему. Стічні води умовно поділяються на два потоки та надходять у відповідні збірники:

- хромові стоки надходять у приймальний бак хромових стоків;
- кислотні, лужні, нікелеві та комплексні стоки надходять у приймальний бак інших відходів. До нього ж після попереднього очищення надходять стоки хромових відходів.

Хромові стічні води збираються у приймальному баку. Перекачуються в бак-реактор для проходження процедури опрацювання. Оброблення полягає в додаванні реагентів для проведення реакцій. Спочатку виконується процедура регулювання рівня кислотності до значень рН 2.0... рН 2.5 за допомогою дозування соляної кислоти

Таблиця 2

## Порівняння українських та міжнародних нормативних баз водоочищення

Нормативний документ	Міжнародні документи	Недоліки (у контексті НС)
<b>Контроль якості стоків</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Водний кодекс України від 06.06.1995 р. № 213/95–ВР;</li> <li>– Закон України «Про охорону навколишнього середовища» затвердженого 25.06.1991 р.;</li> <li>– Закон України «Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення» від 24.02.1994 № 4004–ХІІ. База даних «Законодавство України»;</li> <li>– Закон України «Про захист населення від інфекційних хвороб» від 06.04.2000 № 1645–ІІІ. База даних «Законодавство України»</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Рамкова директива 200*60/ЄС Європарламенту та ради Європи про воду (Water frame Direktory, WFD);</li> <li>– Директива 98/83/ЄС «Щодо якості питної води»;</li> <li>– Primare Drinkig Water Regulations (U.S.EPA)</li> </ul>	Не пропонують шляхи превентивної протидії надзвичайним ситуаціям
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Правила приймання стічних вод підприємства в комунальні і відомчі системи каналізації населених пунктів України;</li> <li>– Правила охорони поверхневих вод, від забруднення зворотними водами, затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 25.03.1999 року № 465</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Директива про очистку міських стічних вод (91/271/ЄС)</li> <li>– Директива щодо інтегрованого контролю і запобігання забруднення (96/61/ЄС)</li> </ul>	Не пропонують шляхи превентивної протидії надзвичайним ситуаціям
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Податковий кодекс України від 02.12.2010 р. № 2755–VI, розділ VII «Екологічний податок»</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Програма дії по охороні довкілля Міжнародної організації співпраці («забруднювач платить»);</li> <li>– Федеральний податок страхового характеру на дію НС (США)</li> </ul>	Пропонують шляхи превентивної протидії надзвичайним ситуаціям лише у США
<b>Проектування систем водоочищення</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>– ДБН В.2.5.-75:2013 «Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування»</li> </ul>	Commission Implementing Decision (EU) 2018/1147 of 10.08.2018 establishing best available techniques (BAT) conclusions for waste treatment, under Directive 2010/75/EU of the European	Не розраховуються режими роботи водоочисного обладнання в умовах надзвичайних ситуацій
<b>Дія надзвичайних ситуацій</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Розпорядження Кабінету Міністрів України від 22.01.2014 р. № 37*р схвалено Концепцію управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру;</li> <li>– Постанова Кабінету Міністрів України від 26.09.2016 р. № 779 «Деякі питання запобігання виникненню надзвичайних ситуацій»</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Директива Ради Європи № 89/391/ЄС</li> <li>– Сімейство стандартів ISO 1400</li> </ul>	В Україні лише декларується загроза Національній безпеці від небезпечного водоскиду в умовах надзвичайних ситуацій

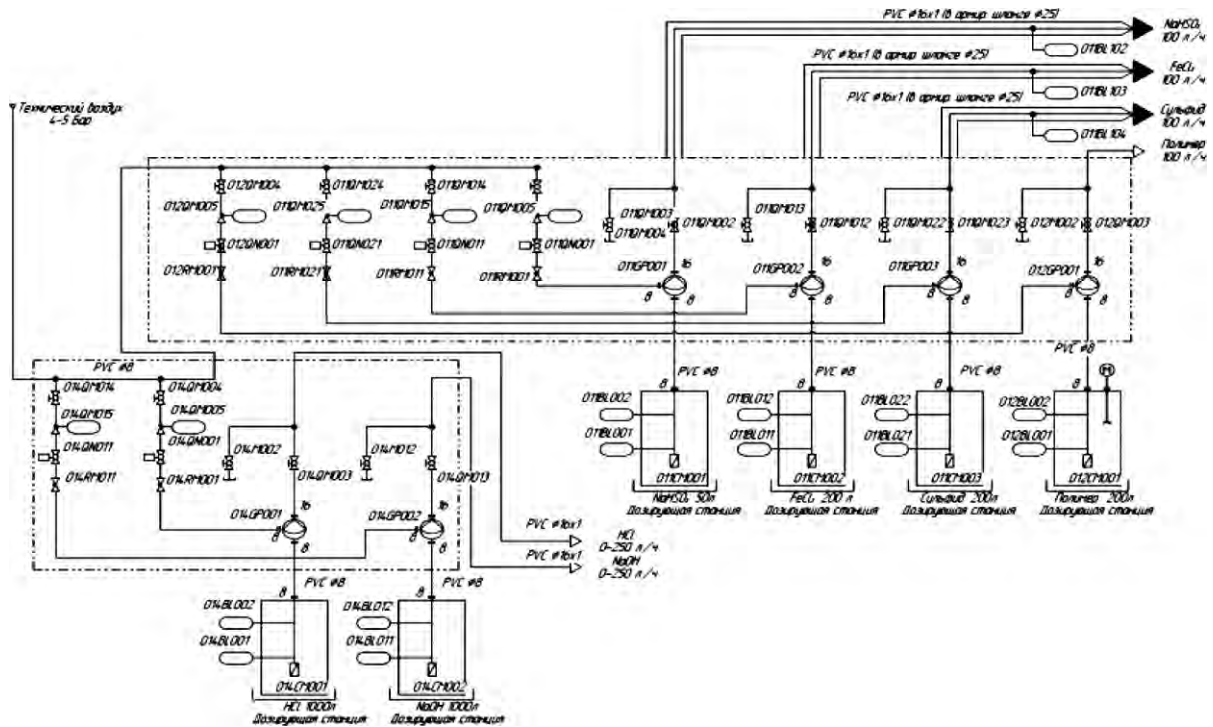


Рисунок 3. Оброблення стічних вод реагентами

HCl або 50%-ного розчину лугу (NaOH). Після дозується 25%-ний розчин бісульфіду натрію до тих пір, поки перестає змінюватися окислювально-відновний потенціал. На наступному етапі відбувається процедура регулювання рівня кислотності для хромових стічних вод у баку-реакторі. Для чого дозується 50% розчин лугу NaOH до встановлення рівня кислотності pH 5.0 – дозування лугу може коригуватися соляною кислотою (HCl) до встановлення рівня кислотності pH 6.0. Після встановлення pH від 5.0 до 6.0 оброблений розчин перекачується в приймальний бак, що знаходиться після бака реактора. Технологія оброблення виробничих стічних вод з гальванічної ділянки реагентами (рис. 3) [16].

За результатами контролю якості стічних вод приймається рішення:

- у разі недосягнутих показників якості стічної води спрямовуються в приймальний бак для проходження повторної процедури очищення;
- у разі досягнення показників якості стічна вода зливається у каналізацію.

Стічна вода, що містить осад у баку шламу, періодично подається на фільтрпрес. Осад із фільтр-пресу потрапляє до збірки. Для зниження загального вмісту солі води є установка зворотного осмосу (рис. 4). Знесолювання води досягається за рахунок фільтрування її через напівпроникні мембрани, здатні затримувати іони солей. Концентрат скидається в каналізацію [17].

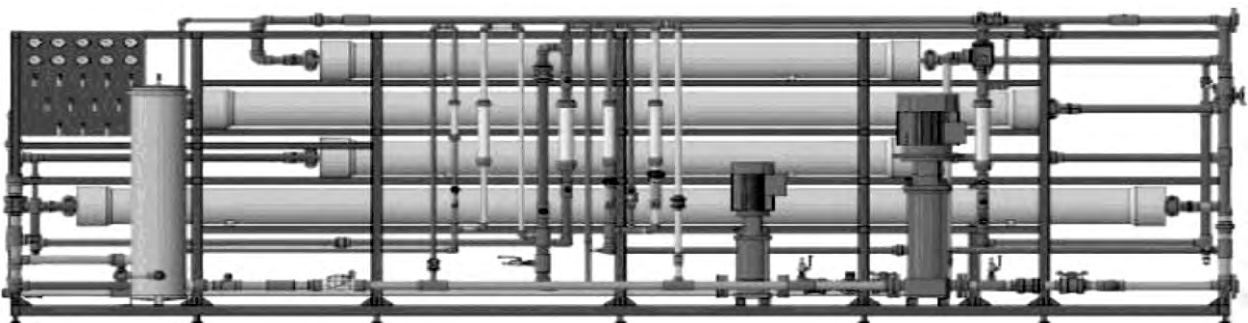


Рисунок 4. Встановлення зворотного осмосу

Таблиця 3

## Показники якості води

Параметр	Вихідна вода		Концентрат		Пермеат	
	1 ступінь	2 ступінь	1 ступінь	2 ступінь	1 ступінь	2 ступінь
NH <sub>4</sub>	0.40	0.01	1.03	0.04	0.01	0.00
K	8.99	0.07	23.33	0.47	0.07	0.00
Na	111.04	0.82	309.24	73.99	0.82	0.09
Mg	48.00	0.07	124.42	0.48	0.07	0.00
Ca	300.60	0.43	779.13	2.93	0.43	0.00
Sr	2.98	0.00	7.72	0.03	0.00	0.00
Ba	0.07	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00
CO <sub>3</sub>	0.55	0.00	5.67	4.20	0.00	0.00
HCO <sub>3</sub>	305.02	2.54	835.52	188.33	2.54	0.54
NO <sub>3</sub>	0.19	0.01	0.48	0.04	0.01	0.00
Cl	3.55	0.01	9.19	0.06	0.01	0.00
F	2.39	0.02	6.21	0.13	0.02	0.00
SO <sub>4</sub>	905.90	1.24	2348.01	8.52	1.24	0.00
CO <sub>2</sub>	21.23	19.40	20.84	0.70	19.40	0.22
TDS	1690.69	5.21	4450.14	279.29	5.21	0.64
pH	7.30	5.45	7.67	8.69	5.45	6.73

Така технологія очищення води дозволяє досягти наступних показників води (табл. 3) [18].

У такий спосіб, прийнята та реалізована технологія очищення стічних вод гальванічної ділянки дозволяє досягти високої якості очищення води по важких катіонах металів та відповідає вимогам прийому стічних вод у міську каналізацію. Авторами запропоновано побудувати інтелектуальні споруди для очищення промислових вод для їх екологічно безпечного функціонування при цьому технікоекономічне обґрунтування промислового використання таких програмно-апаратних комплексів полягає у зменшенні витрат на використання ресурсів у штатному режимі (електроенергія, реагенти) та недопущення загибелі персоналу (нештатні ситуації). Програмне забезпечення створено мовою Python з використанням кросплатформового фреймворку Qt.

Для очищення стічних вод від ПАР на рівні високих концентрацій, авторами запропоновано раціональну протиточно-ступінчасту схему періодичної дії [20].

Для систем, які використовують механічні (фізичні) методи очищення, характерні такі технологічні недоліки:

- Часткове засмічення фільтрувальних елементів може спричинити утворення колоній бактерій на робочих пристроях очищення (фільтрах, картриджах).
  - Відфільтрована маса, накопичена у фільтрах, центрифугах, відстійниках чи гідроциклонах, є шкідливою для людини й довкілля.
- Недоліки фізико-хімічних методів очищення:
- Ефективно знищують лише віруси, мікроби та бактерії, але не усувають продукти їхньої життєдіяльності, які можуть бути навіть більш небезпечними.

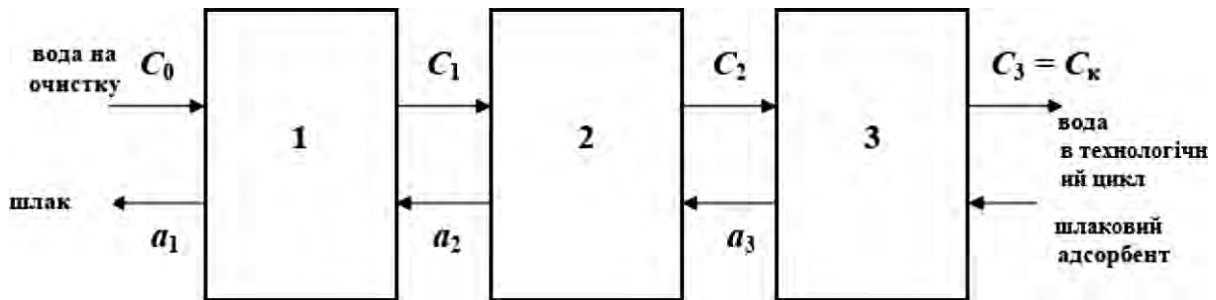


Рисунок 5. Схема протиточно-ступінчастої адсорбційної очистки стічних вод від ПАР: (1–3) – адсорбери з відстійниками адсорбційного каскаду;  $C$  – концентрації ПАР;  $a$  – ємність адсорбенту на кожному ступені очищення

- Руйнують корисну мікрофлору, необхідну для людини.
  - Мають обмежений ефект за високих концентрацій забруднювачів та недостатню проникаючу здатність.
- Недоліки хімічних методів очищення:

- Хімічні реакції можуть призводити до утворення нових шкідливих сполук, небезпечніших за початкові забруднювачі.
- Утворюється значний обсяг шкідливих залишків у вигляді комплексу «відпрацьований реагент та забруднювач».
- Руйнується корисна мікрофлора.

Недоліки біологічних методів очищення:

1. Високі вимоги до дотримання технологічних параметрів (температура, тиск води), що спричиняє значні витрати енергоресурсів або може зупинити процес очищення.
2. Біологічні методи очищення стічних вод базуються на використанні бактерій та біологічних процесів, які здійснюють біологічне окислення. До них належать аеротенки, біологічні ставки тощо.
3. Комбіновані методи очищення стічних вод поєднують у собі засоби для видалення як органічних, так і неорганічних забруднювачів.

## Висновки

Усі сучасні методи видалення забруднювальних речовин зі стічних вод базуються на використанні комплексу фізичних, хімічних і електротехнічних технологій. Основна мета дослідження полягає в удосконаленні критеріїв

ефективності технологій очищення промислових стоків та поліпшенні екологічної ситуації. Проведено детальний аналіз ключових методів очищення промислових стічних вод, що застосовуються в різних регіонах України, з акцентом на їхній ефективності та перспективності.

## Список використаних джерел

1. Кобилянський В. Я. Плани забезпечення водопостачання та війна / В. Я. Кобилянський // Водопостачання та водовідведення. Спеціальний випуск. 2024. С. 50-58. URL: <https://ukrvodokanal.in.ua/wpcontent/uploads/2024/02/spetsvypusk-zhurnalu-za-lyutyj2024-roku-1.pdf> (дата звернення 24.11.2024).
2. Строкаль В. П., Шевчук С. А. Затоплення та підтоплення територій: ризики для водної та продовольчої безпеки регіонального рівня / В.П. Строкаль, С.А. Шевчук // Екологічні науки. 2023. № 4(49). С. 159–170. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.21>.
3. Strokal V., Kurovska A., Strokal M. More river pollution from untreated urban waste due to the Russian-Ukrainian war: a perspective view / V. Strokal, A. Kurovska, M. Strokal // Journal of Integrative Environmental Sciences. 2023. Vol. 20, No. 1. P. 1-11. <https://doi.org/10.1080/1943815X.2023.2281920>.
4. Marques R. C., da Cruz N. F., Pires J. Measuring the sustainability of urban water services / R.C. Marques, N.F. Cruz, J. Pires. Environmental Science Policy. 2015. Volume 54. P. 142–151. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.07.003>.

5. Huang J., Bixler T., & Mo W. Building resilience for an uncertain drinking water future. *AWWA Water Science*, 2023, 1362,. <https://doi.org/10.1002/aws2.1362>
6. Chu-Ketterer L.-J., Platten W.E., III Bolenbaugh S. And Haxton T. Resilience Analysis and Emergency Response Evaluation for Drinking Water Systems. *J AWWA*. 2023. 115. С. 32–42. <https://doi.org/10.1002/awwa.2107>
7. Pamidimukkala A., Kermanshachi S., Adepu N., Safapour E. Resilience in Water Infrastructures: A Review of Challenges and Adoption Strategies / A. Pamidimukkala, S. Kermanshachi, N. Adepu, E. Safapour // *Sustainability*. 2021. 13(23):12986. P. 1-15. <https://doi.org/10.3390/su132312986>.
8. Hoslett, J. et al. Surface water filtration using granular media and membranes : A review. / J. Hoslett et al. *Sci. Total Environ*. 2018. vol. 639. P. 1268-82. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.247>.
9. Effendi, M.S. M., Azmi, Badrul & Saad, Mohd sazli & Abd. Rahim, Shayfull Zamree & Mat Saad, Mohd Nasir. Portable water purification system // Final report of the flood disaster assessment trial. 2017. P. 35-39. DOI: 10.13140/RG.2.2.16543.36008.
10. Shuryhin V., Rak Yu., Karabyn V. Analysis of factors and development of methods for managing the environmental and civil safety of transboundary transportation of oil and oil products through pipelines. *ScienceRise*. 2020. 5, 51–56. DOI: <http://doi.org/10.21303/2313-8416.2020.001484>.
11. Патент на корисну модель 138978 UA, МПК G05 13/00 (2006.01) Система управління водочищенням та водопідготовкою / В.М. Штепа; заявник В.М. Штепа, власник В.М. Штепа. – № 201906421; заявл. 10.12.2019; опубл. 10.06.2019, Бюл. № 23. 4 с.
12. Штепа В.М., Пляцук Л.Д., Аблєєва І.Ю., Гурець Л.Л., Шерстюк М.М., Пономаренко Р.В. Обґрунтування еколого-енергетичного підходу до удосконалення технологічних регламентів систем водочищення. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2020. № 3(51). С. 3–19.
13. Zaiets N., Pavlov P., Shtepa V., Elperin I., Nachkovska M. Development of a resource–process approach to increasing the efficiency of electrical equipment for food production. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol 5. No 8(101). P. 59–65.
14. Кирильчук А., Наконечний Ю. Методологія та організація досліджень в науках про Землю: Навчальний посібник / Кирильчук А., Наконечний Ю. – Львів: ЛНУ Імені Івана Франка, 2021. – 496 с.
15. Екологія та раціональне природокористування: освіта, наука і практика [Електронний ресурс]: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, Ломжа-Житомир, 15.11.2023 / За наук. ред.: Зоя Шарлович, Януш Лісовскі, Руслана Романюк. Частина 2. Видавець: MANS w Łomży, 2023. – 286 с.
16. Войтків П. Збалансоване природокористування: навчально-методичний посібник / П. Войтків, Є. Іванов. – Львів : ЛНУ ім. І. Франка, 2021. – 182 с.
17. Dreshpak O., Berezniak O., Berezniak O., Chechel P. The latest technologies for reuse of sludge of metallurgical enterprises in Ukraine. *International scientific-technical conference MININGMETALTECH 2023 – The mining and metal sector: integration of business, technology and education*. Vol. 2. 2023., pp. 185- 188. – <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-140>
18. Dreshpak O., Berezniak O., Berezniak O. (2023) Wet high gradient magnetic separation of kaolin clay. 6th International Scientific and Technical Internet Conference «Innovative development of resource-saving technologies and sustainable 21 use of natural resources». *Book of Abstracts*. - Petroşani, Romania: UNIVERSITAS Publishing. - pp. 157–159
19. Hlukhoveria M., Mladetskyi I., Levchenko K. & Borysovska O. (2023) Improving the technology of extracting coal concentrate from fly ash from thermal power plants. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 4, 33–39. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-4/033>
20. Berezniak, O. & Berezniak, O. (2022). Classification of demagnetized magnetite in an upward laminar flow. *Scientific Collection «InterConf+»*, 25(125), 168-176. – <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.09.2022.016>