

УТИЛІЗАЦІЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ НАНОСОРБЕНТІВ, ОТРИМАНИХ ПІД ЧАС ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД ВІД ІОНІВ Ni²⁺ В СКЛАДІ ПОРОШКОВИХ ЛАКОФАРБОВИХ МАТЕРІАЛІВ

*Анастасія Снитко¹, Геннадій Кочетов², Дмитро Самченко³,
Олесь Ластівка⁴, В'ячеслав Мегеть⁵, Дмитро Дереча⁶*

^{1,2,3,5} Київський національний університет будівництва та архітектури
31, Повітрофлотський пр., м. Київ, Україна, 03037

⁴ Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля
вул. Автозаводська, 2, м. Київ, Україна, 04074

⁶ Інститут магнетизму Національної академії наук України та Міністерства освіти і науки України
бульв. Акад. Вернадського 36-б, м. Київ, Україна, 03142

¹ аспірантка, snitko2311@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4644-7302>

² докт. тех. наук, професор, gkochetov@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0041-7335

³ канд. тех. наук, ст. наук. сп., sama30071988@gmail.com, orcid.org/0000-0003-3305-8180

⁴ канд. тех. наук, доцент, oles.lastivka@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3670-0020

⁵ аспірант, ss9164669@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5903-3590,

⁶ канд. фіз.-мат. наук, зав. лаб. dderecha@gmail.com, orcid.org/0000-0002-2442-3759

DOI: 10.32347/2524-0021.2022.41.76-83

Анотація. Розглянуто перспективи підвищення рівня екологічної безпеки промислових підприємств в результаті реалізації новітніх сорбційних технологій очистки стічних вод. Проведено аналіз ефективності застосування існуючих методів сорбційної очистки води, які містять сполуки важких металів. Отримано високоефективний магнітних сорбентів шляхом електроерозійного диспергування, який містить полівалентні оксидів феруму.

Досліджено вплив способу введення сорбенту в стічну воду на ступінь її очистки. Найефективніші результати з очистки води були досягнуті із застосуванням свіжо отриманого порошку електроерозійного диспергування заліза у воді у вигляді суспензії, що дозволяє досягти високого ступеню очистки води від іонів цинку – більш ніж 99 %. Така вода відповідає нормативам для промивки деталей на гальванічному виробництві щодо вмісту іонів нікелю. Показана доцільність утилізації відпрацьованих наносорбентів у складі порошкових лакофарбових матеріалів. При введенні у склад покриття хімічно стійкого в відході очищення води, який має феромагнітні властивості, у кількості 15 % мас. забезпечується висока корозійна стійкість покриття та екранування електромагнітного випромінювання підвищується приблизно в 3 рази порівняно з стандартним зразком. Використання результатів дослідження на підприємствах дозволить запобігти забрудненню довкілля токсичними речовинами, змінити застарілі виробничі технології, забезпечити ефективне і раціональне використання води, сировини та енергії в системі промислового виробництва.

Ключові слова: промивні стічні води, гальванічні виробництва, наносорбент, іони нікелю, електроерозійне диспергування.

ВСТУП

Стічні води гальванічного виробництва є одним з найбільш поширених різновидів промислових рідких відходів. Промислові стічні води, які забруднені солями важких металів, утворюються при хімічній та

електрохімічній обробці металів та їх сплавів, а також при нанесенні гальванічних покриттів [1]. Скиди промивних стічних вод за обсягом становлять 70 ÷ 75 % від загальної кількості стічних вод, а за загальним вмістом забруднень сягають 30 % [2]. В

результаті із недостатньо очищеними гальванічними стічними водами в водні об'єкти щороку потрапляють тисячі тон сполук іонів важких металів, зокрема нікелю, що мають негативний екологічний вплив. Існуючі методи очистки стічних вод на більшості промислових підприємств України, як правило, представлені застарілими технологіями та обладнаннями, що не відповідають вимогам міжнародних стандартів [3].

Для зниження у промивній стічній воді концентрації токсичних речовин до рівня ГДК для скиду у міську каналізаційну мережу широко використовують сорбційні методи [4, 5]. Однак, незважаючи на значне число прикладів їх успішного застосування, не завжди досягається бажаний результат очистки стічної води. Тому наразі триває пошук нових сорбуючих речовин, що поєднують високий ступінь очистки води з екологічністю та економічністю їх отримання. Одним із сучасних шляхів підвищення їх ефективності – використання високодисперсних сорбентів. Перспективним напрямком є отримання матеріалів високої сорбційної спроможності з використанням в якості вихідної сировини для їх синтезу відходів промислових підприємств [6].

Одним з таких низько вартісних методів отримання наносорбентів є синтез шляхом електроерозійного диспергування (ЕЕД) [7, 8]. Технологія ЕЕД дозволяє переробити в порошок будь-які електропровідні відходи (металеві, тверді сплави, важкі сплави, гранули тощо). Крім того, цей екологічний метод характеризується низькою питомою енергоємністю – витрати енергії для виготовлення 1 кг порошку складають $1,5 \div 3$ кВт.

Останніми роками були проведені дослідження з очистки стічних вод промислових виробництв магнітними наносорбентами. Так, в роботі [9] застосовано процес наносорбції для очистки промивних стічних вод лінії нікелювання з вихідною концентрацією до 100 мг/дм^3 . Слід зазначити, що практично невирішеним залишається питання подальшої утилізації відпрацьованих наносорбентів, які містять іони важких металів. Враховуючи значні витрати коштів і

часу на зберігання вторинних продуктів очистки стічних вод, та втрати великої кількості кольорових металів, необхідною є розробка надійних шляхів утилізації відпрацьованих наносорбентів. Такі відходи можуть використовуватись при виробництві будівельних матеріалів [10, 11], скла [13], пігментів [12], кераміки [14], тощо.

Зараз на часі отримання матеріалів, що екранують електромагнітне випромінювання [15, 16]. Тому актуальним є дослідження можливості застосування таких порошкових лакофарбових покриттів, які модифіковані відпрацьованими наносорбентами.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою цього дослідження є використання наносорбенту для покращення якості сорбційної очистки промивних стічних вод гальванічних виробництв, які містять іони Ni^{2+} , та вивчення можливості подальшої утилізації відпрацьованого сорбенту у складі порошкових лакофарбових матеріалів.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для проведення експериментів з очистки модельних промивних стічних вод лінії нікелювання гальванічних виробництв використовували феромагнітні наносорбенти, отримані методом електроерозійного диспергування. Вихідна концентрація іонів нікелю складала від 30 до 90 мг/дм^3 . Установки для синтезу сорбенту, технологія одержання та їх характеристики детально описані у роботі [9]. Досліджувалась фракція нанопорошку розміром з зерен 20 – 50 нм, що містить залізо та його оксиди в різних ступенях окиснення, головним чином, FeO та Fe_3O_4 за даними рентгенівського дифракційного аналізу.

Дослідження процесу сорбції іонів нікелю проводився на лабораторному стенді [9]. Вихідні та залишкові концентрації іонів цинку визначали на спектрофотометрі Nach DR3900 (Nach Lange, США).

В сорбційних дослідженнях використовували водну суспензію з вмістом 60% маси

сорбенту. Вивчали сорбційну здатність свіжоотриманої суспензії. Термін її застосування після отримання складав 6 год.

Водну суспензію сорбенту додавали у розрахунку 21 г на 1 г іонів нікелю в модельному розчині. Після цього утворену суміш перемішували протягом 30 хв. Після завершення процесу сорбент відокремлювали на фільтрі з розмірами сітки 10 мкм.

Для вивчення можливості утилізації відпрацьованих наносорбентів у складі порошкових лакофарбових матеріалів проведено дослідження їх впливу на формування фізико-механічних та екрануючих властивостей порошкових покриттів.

В якості плівкоутворюючого компоненту для порошкових покриттів використано карбоксилівмісну поліефірну смолу виробництва компанії "Alnex" Crylcoat 2618-3. Склади порошкових систем представлено в табл. 1. Для карбоксилівмісної поліефірної

смоли є також обов'язковим використанням структуроутворюючого затверджувача у вигляді гідроксоалкіламіда. В якості контрольного складу було використано систему порошкового покриття, що вміщує сульфат барію, який є традиційним наповнювачем для отримання порошкового лакофарбового матеріалу. Для забезпечення покриттєвої спроможності поверхні металевих зразків в досліджуваних порошкових системах було вибрано білий пігмент у вигляді діоксиду титану.

Дослідження корозійної стійкості систем порошкових покриттів проведено у відповідності до ДСТУ ISO 9227:2015 «Випробування на корозію в штучних атмосферах. Випробування соляним туманом (конденсація водного розчину хлориду натрію на поверхні зразків при температурі 35 °C)».

Табл. 1. Склади порошкових систем

Table 1. Compositions of powder systems

№ п/п	Вміст сировинних матеріалів, %				
	Crylcoat 2618-3	НАА	TiO ₂	BaSO ₄	Відпрацьований наносорбент
1	57	3	10	30	-
2				25	5
3				20	10
4				15	15

Дослідження екрануючих властивостей систем порошкових покриттів проведено на зразках металевих пластин розміром 30x15 см при середній товщині покриття 180 мкм. Ефективність захисту порошкових покриттів від електромагнітного випромінювання досліджена за рівнем затухання надвисоко-частотного випромінювання (НВЧ-випромінювання) за зразком на частоті 8,4 ГГц в порівнянні з рівнем потужності відбитої електромагнітної хвилі перед контрольним зразком. Дослідження втрат НВЧ-випромінювання у пластинках проведено за допомогою порожнього мідного циліндричного резонатору з заміною однієї з торцевих кришок на пластину. В різних місцях пластини виконано 5 вимірів з подальшим усередненням результатів випробувань. Неоднорідність параметрів пластин склала 2 ÷ 3 %.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Результати проведених експериментальних досліджень з очистки модельних промивних стічних вод, які містять іони нікелю, представлено в табл. 2. Як видно з даних табл. 2, найменша залишкова концентрація іонів нікелю після очистки становить 0,41 мг/дм³ при вихідній концентрації 30 мг/дм³. Ступінь вилучення іонів нікелю наносорбентом сягає 98,58%. Така очищена вода відповідає нормативам води для промивки деталей в оборотній системі гальванічного виробництва щодо концентрації іонів нікелю.

Табл. 2. Результати дослідів з очистки стічних вод від іонів Ni^{2+} суспензією наносорбенту
Table. 2 Results of experiments on Ni^{2+} removing by nanosorbent suspension from wastewater

Концентрація іонів Ni^{2+} , мг/дм ³		Ступінь вилучення іонів Ni^{2+} , %
До очистки	Після очистки	
30	0,41	98,58
60	0,56	99,06
90	0,74	99,17

Відпрацьований сорбент після очистки стічних вод утилізувався в порошкових лакофарбових покриттях. Вміст сорбенту в покритті складав до 15% мас. На рис. 1 – 3 приведено результати досліджень фізико-механічних характеристик. Показано, що введення відпрацьованих наносорбентів очистки стічної води від іонів нікелю до складу порошкових лакофарбових систем сприяє підвищенню механічних та експлуатаційних властивостей матеріалу. Так, покриття з використанням наповнювача у вигляді сульфату барію, який є контрольним, характеризується наступними властивостями: міцність до дії зворотного удару – 20 см/кг (рис. 1), міцність на згин навколо циліндричного стрижня становить 8 мм (рис. 2) та міцність на витягування – 5,0 мм (рис. 3).

Підвищенні механічні та експлуатаційні властивості матеріалу спостерігаються при використанні відпрацьованого наносорбента в складі досліджуваних систем. Так, введення відходу сорбенту у кількості 5 % за масою призводить до підвищення міцності до дії зворотного удару покриття, яка має значення 30 см/кг, що в 50 % вище порівняно з контрольним складом. Також при цьому спостерігається зростання міцності на згин зразка матеріалу навколо циліндричного стрижня та міцності на витягування. Зі збільшенням вмісту відпрацьованого наносорбента до 10 і 15 % мас. у складі порошкової системи, механічні властивості покриття зростають. Це може бути пов'язано зі збільшенням коефіцієнта ущільнення системи шляхом зміни форми частинок наповнювача з кубічної, яка є у сульфату барію на сферичну, у нанопорошка. Крім того, це може бути також пов'язано з підвищенням сорбції полімерної фази на поверхні частинок наповнювача, що визначає підвищення

механічних властивостей покриття.

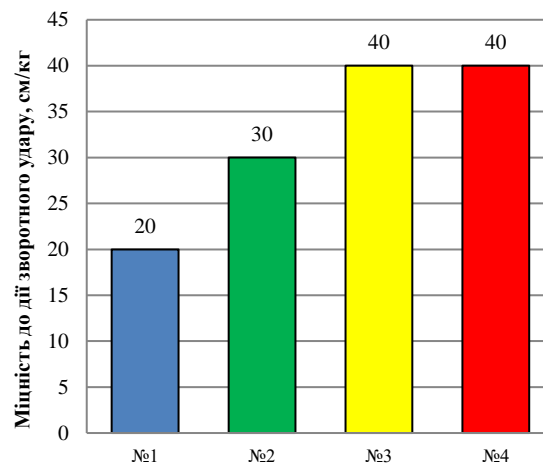


Рис. 1. Міцність покриття до дії зворотного удару на основі досліджуваних систем

Рис. 1. Міцність покриття до дії зворотного удару на основі досліджуваних систем

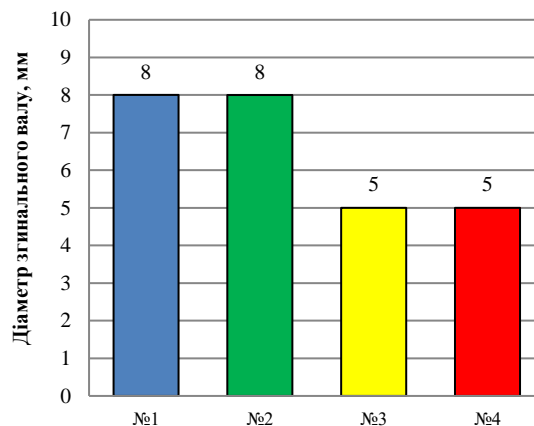


Рис. 2. Міцність покриття на згин навколо циліндричного стрижня, на основі досліджуваних систем

Рис. 2. Міцність покриття на згин навколо циліндричного стрижня, на основі досліджуваних систем

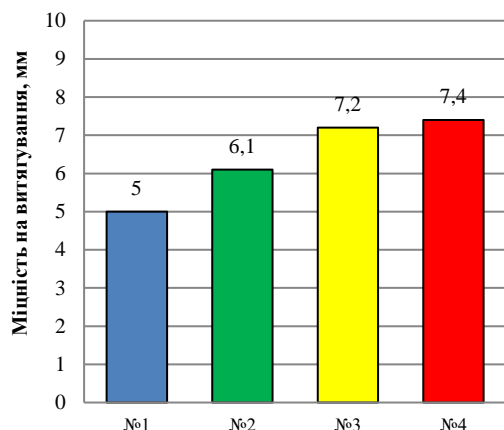


Рис. 3. Міцність покриття на витягування, на основі досліджуваних систем

Рис. 3. Міцність покриття на витягування, на основі досліджуваних систем

Наступним етапом роботи було визначення корозійної стійкості покриттів на основі досліджуваних систем із використанням відпрацьованих наносорбентів. За результатами досліджень, які показано в табл. 3, виявлено, що використання сульфату барію у складі порошкової фарби, як контрольного складу, протягом 720 годин витримки покриття в камері соляного туману призводить до відшарування покриття на 8,7 мм. При цьому, середня ширина корозії металу через 480 годин становить 6,6 мм.

Табл. 3. Дослідження відпрацьованих наносорбентів на корозію у складі порошкових систем

Table. 3. Research of used nanosorbents for corrosion in the composition of powder systems

№ п/п	Середня ширина відшарування покриття, мм	Середня ширина корозії металу, мм
1	8,7	6,6
2	10,1	7,2
3	7,9	4,0
4	3,6	1,9

Введення відпрацьованого нано-сорбента до складу досліджуваних систем забезпечує отримання значень відшарування покриття та розширення корозії металу, які є суттєво нижчими порівняно із контрольним. Так введення відхода у кількості 10 % до складу досліджуваної системи сприяє зниженню відшарування покриття на 9 % і становить 7,9 мм, а також зниженню, ширина корозії металу – 4,0 мм на 40 %.

Введення у кількості 15 % забезпечує найбільшу корозійну стійкість покриття серед досліджуваних систем – середня ширина відшарування покриття знижується на 60 % і становить 3,6 мм, а середня ширина розширення корозії металу знижується на 78 %.

Результати досліджень екрануючих властивостей порошкових систем наведено в табл. 4.

Табл. 4. Дослідження екрануючих властивостей порошкових систем

Table. 4. Research of shielding properties of powder systems

Характеристика	Найменування складів досліджуваних порошкових систем	
	Зразок №1	Зразок №4
Резонансна частота F , ГГц	8,4	
Добротність резонатору Q_0	1575	523
Добротність пов'язана зі зразком Q_c	1799	565
Втрати на вершині резонансної кривої L , дБ	-31,5	-39,9
Відношення поверхневого опору досліджуваної системи до поверхневого опору контрольного складу R_sX/R_s	1	3,38

За результатами досліджень виявлено, що введення відпрацьованих наносорбентів до складу порошкових лакофарбових систем сприяє підвищенню екрануючих властивостей матеріалу (табл.4). Так введення відходу у кількості 15 % за масою до порошкової системи сприяє підвищенню поверхневого опору досліджуваної системи до поверхневого опору контрольного складу, що становить 3,38 мм. Захист покриття з введенням відпрацьованого наносорбента дозволяє екранувати електромагнітне випромінювання в гігагерцевому діапазоні порівняно з контрольним складом майже в 3 рази.

ВИСНОВКИ

Аналіз та узагальнення отриманих даних підтверджує перспективність використання ефективного та екологічно чистого наносорбенту для очистки промивних стічних вод гальванічних виробництв від іонів Ni^{2+} . Використання свіжо отриманої суспензії наносорбенту дозволяє досягти високого ступеню очистки води від іонів цинку - більш ніж 99 %. При реалізації запропонованого сорбційного процесу забезпечується необхідна якість очистки води для повторного її використання на промисловому виробництві, а також отримання хімічно стійких твердих відходів водоочистки, які мають феромагнітні властивості.

В результаті експериментальних досліджень показано доцільність введення відпрацьованих наносорбентів у склад порошкових лакофарбових матеріалів. Встановлено, що така утилізація наносорбента забезпечує отримання високих механічних характеристик покриттів, що є підставою розглядати досліджувані відходи як сировинний матеріал для отримання лакофарбових матеріалів. Найкращі результати дослідження були отримані при введенні у склад порошкової системи відходу очищення води у кількості 15% мас. При цьому забезпечується висока корозійна стійкість системи, зниження розширення корозії металу сягає $40 \div 78$ %, порівняно з контрольним складом. Захисні екрануючі властивості також покращуються: екранування

електромагнітного випромінювання підвищується приблизно в 3 рази порівняно з контрольним зразком.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Ramezani M., Enayati M., Ghorbani A.** A study of different strategical views into heavy metal (oid) removal in the environment // *Arabian Journal of Geosciences*. 2021 Vol. 14(21), 2225.
2. **Тугай А. М., Кочетова Г. М., Самченко Д. М.** Вивчення стійкості відходів очищення стічних вод, які містять сполуки міді // *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*, 2012. Вип. 20, С. 66 – 70.
3. **Stala L., Ulatowska J., Polowczyk I.** Copper (II) ions removal from model galvanic wastewater by green one-pot synthesised aminohypophosphite polyampholyte // *Journal of Hazardous Materials*. 2022. Vol. 436, 129047.
4. **Гончарук В. В., Радовенчик В. М., Гомеля М. Д.** Отримання та використання вискодисперсних сорбентів з магнітними властивостями. Київ: Графіка, 2003. 264 с.
5. **Боженко О. М., Омельчук Ю. А., Гомеля М. Д.** Отримання високоселективних сорбентів для вилучення міді із вод систем охолодження АЕС. Збірник наукових праць СНУЯЕтаП. 2009. Вип. 4(32). С. 148–154.
6. **Гражулене С. С., Золотарева Н. И., Редькин А. Н., Шилкина Н. Н., Митина А. А., Колесникова А. М.** Магнитный сорбент на основе магнетита и модифицированных углеродных нанотрубок для извлечения некоторых токсичных элементов // *Ж. прикл. хим.*, 2018. Т. 91. Вып. 11. С. 1642–1648.
7. **Halbedel B., Prikhna T., Quiroz P., Schawohl J., Kups T., Monastyrov M.** Iron oxide nanopowder synthesized by electroerosion dispersion (EED)—properties and potential for microwave applications // *Current Appl. Phys.*, 2018. Vol.11. P. 1410–1414.
8. **Monastyrov M., Prikhna T., Halbedel B., Kochetov G., Marquis F., Mamalis A.** Electroerosion dispersion, sorption and coagulation for complex water purification electroerosion waste recycling and manufacturing of metals, oxides and alloys nanopowders // *Nanotechnology Perceptions*, 2019. Vol. 15. P. 48 – 57.
9. **Kochetov G., Prikhna T., Samchenko D., Prysiazhna O., Monastyrov M., Moshchil V., Mamalis A.** Resource-efficient ferritization treatment for concentrated wastewater from electroplating production with aftertreatment by nanosorbents // *Nanotechnology Perceptions*, 2021. Vol. 17 № 1, P. 9 -18.

10. **Kolodko A., Kochetov G., Samchenko D., Pasko A.** Study of the stability of industrial wastewater treatment waste in alkaline cements // *Problems of water supply, sewerage and hydraulic*, 2016. Vol. 28, P. 180 – 186.

11. **Kovalchuk O., Kochetov G., Samchenko D.** Study of service properties of alkali-activated cement using wastewater treatment residues // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019. Vol. 708, Is. 1, 012087.

12. **Anigrahawati P., Sahar M. R., Sazali E. S.** Physical, structural and spectroscopic analysis of tellurite glass containing natural magnetite Fe₃O₄ nanoparticles // *Materials Chemistry and Physics*. 2022. Vol. 286, 126183.

13. **Pfaff G.** Iron oxide pigments // *Physical Sciences Reviews*. 2021. Vol. 6(10), 535-548.

14. **Castañeda Bocanegra J. J., Espejo Mora E., Cubillos González G.I.** Encapsulation in ceramic material of the metals Cr, Ni, and Cu contained in galvanic sludge via the solidification/stabilization method // *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2017. Vol.5 (4). P. 3834 – 3843.

15. **Glyva V. A., Levchenko L. O., Panova O. V., Tykhenko O. M., Radomska M. M.** The composite facing material for electromagnetic fields shielding // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 907(1), 012043.

16. **Glyva V. A., Podoltsev A. D., Bolibrukh B. V., Radionov A. V.** A thin electromagnetic shield of a composite structure made on the basis of a magnetic fluid / *Technical Electrodynamics*. 2018. Vol. 4, 14 – 18.

REFERENCES

1. **Ramezani, M., Enayati, M., & Ghorbani, A.** (2021). A study of different strategical views into heavy metal (oid) removal in the environment. *Arabian Journal of Geosciences*. 14(21), 2225. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-08572-4>
2. **Tugay, A. M., Kochetov, G. M., & Samchenko, D. N.** (2012). Study of waste stability for copper-containating water treatment. *Problems of water supply, sewage and hydraulics*, 20, 66 – 70. [in Ukrainian]
3. **Stala, L., Ulatowska, J., & Polowczyk, I.** (2022). Copper (II) ions removal from model galvanic wastewater by green one-pot synthesised amino-hypophosphite polyampholyte. *Journal of Hazardous Materials*. 436, 129047. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129047>
4. **Honcharuk, V. V., Radovenchyk, V. M., & Gomelya, M. D.** (2003). *Preparation and use of highly dispersed sorbents with magnetic properties*. Kyiv: Graphics. [in Ukrainian]
5. **Bozhenko, O. M., Omelchuk, Yu. A., & Gomelya, M. D.** (2009). Preparation of highly selective sorbents for extracting copper from the waters of cooling systems of nuclear power plants. *A collection of scientific works of the SNUNEL*. 4(32). 148–154. [In Ukrainian]
6. **Grazhulene, S. S., Zolotareva, N. I., Redkin, A. N., Shilkina, N. N., Mitina, A. A., & Kolesnikova, A. M.** (2018). Magnetic sorbent based on magnetite and modified carbon nanotubes for the extraction of some toxic elements. *Journal of Applied Chemistry*, 91/11. 1642–1648. [in Russian]
7. **Halbedel, B., Prikhna, T., Quiroz, P., Schawohl, J., Kups, T., & Monastyrov, M.** (2018). Iron oxide nanopowder synthesized by electroerosion dispersion (EED) – properties and potential for microwave applications. *Current Appl. Phys.*, 11. 1410–1414. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2018.08.006>
8. **Monastyrov, M., Prikhna, T., Halbedel, B., Kochetov, G., Marquis, F., & Mamalis, A.** (2019). Electroerosion dispersion, sorption and coagulation for complex water purification electroerosion waste recycling and manufacturing of metals, oxides and alloys nanopowders. *Nanotechnology Perceptions*, 15. 48 – 57. <https://doi.org/10.4024/n24mo18a.ntp.15.01>
9. **Kochetov, G., Prikhna, T., Samchenko, D., Prysiazhna, O., Monastyrov, M., Moshchil, V., & Mamalis, A.** (2021). Resource-efficient ferritization treatment for concentrated wastewater from electroplating production with aftertreatment by nanosorbents. *Nanotechnology Perceptions*, 17/1. 9-18. <https://doi.org/10.4024/n22ko20a.ntp.17.01>
10. **Kolodko, A., Kochetov, G., & Samchenko, D., Pasko, A.** (2016). Study of the stability of industrial wastewater treatment waste in alkaline cements. *Problems of water supply, sewerage and hydraulic*. 28. 180 – 186. [in Ukrainian]
11. **Kovalchuk, O., Kochetov, G., & Samchenko, D.** (2019). Study of service properties of alkali-activated cement using wastewater treatment residues. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 708/1, 012087. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/708/1/012087>
12. **Anigrahawati P., Sahar M. R., & Sazali E. S.** (2022). Physical, structural and spectroscopic analysis of tellurite glass containing natural magnetite Fe₃O₄ nanoparticles. *Materials Chemistry and Physics*. 286, 126183.

<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2022.126183>

13. Pfaff G. (2021). Iron oxide pigments. *Physical Sciences Reviews*. 6(10), C. 535-548.

<https://doi.org/10.1515/psr-2020-0179>

14. Castañeda Bocanegra, J. J., Espejo Mora, E., Cubillos González, G.I., (2017). Encapsulation in ceramic material of the metals Cr, Ni, and Cu contained in galvanic sludge via the solidification/stabilization method. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(4). 3834 – 3843. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.07.044>

15. Glyva, V. A., Levchenko, L. O., Panova, O. V., Tykhenko, O. M., & Radomska, M. M.

(2020). The composite facing material for electromagnetic fields shielding. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 907(1), 012043. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/907/1/012043>

16. Glyva, V. A., Podoltsev, A. D., Bolibrukh, B. V., & Radionov, A. V. (2018). A thin electromagnetic shield of a composite structure made on the basis of a magnetic fluid. *Technical Electrodynamics*, 4. 14 – 18. <https://doi.org/10.15407/techned2018.04.014>

Disposal of used nanosorbents obtained during wastewater purification from Ni²⁺ ions in powder paint materials

Anastasia Snitko, Gennadii Kochetov, Dmitry Samchenko, Oles Lastivka,
Vyacheslav Meget, Dmytro Derecha

Abstract. The prospects of increasing the level of environmental safety of industrial enterprises as a result of the implementation of the latest sorption technologies for wastewater treatment are considered. An analysis of the effectiveness of the existing methods of sorption water purification, which contain compounds of heavy metals, was carried out. Highly effective magnetic sorbents were obtained by electroerosion dispersion, which contains polyvalent iron oxides.

The effect of the method of introducing the sorbent into wastewater on the degree of its purification was investigated. The most effective results in water purification were achieved with the use of freshly obtained powder of electroerosion dispersion of iron in water in the form of a suspension, which allows to achieve a high degree of water purification from zinc ions - more than 99%. Such water meets the standards for washing parts in galvanic production with regard to the content of nickel ions. The expediency of recycling spent nano-sorbents in the composition of powder paint and varnish materials is shown. When a coating chemically stable in water treatment waste, which has ferromagnetic properties, is included in the composition, in quantity 15% by weight high corrosion resistance of the coating is ensured and shielding of electromagnetic radiation increases approximately 3 times compared to the standard sample. The use of research results at enterprises will prevent environmental pollution with toxic substances, change outdated production technologies, ensure efficient and rational use of water, raw materials and energy in the industrial production system.

Key words: washing wastewater, galvanic production, nanosorbent, nickel ions, electroerosive dispersion.

Стаття надійшла до редакції 29.11.2022