

УДК 504.06:691

DOI 10.31891/2307-5732-2020-285-3-36

Є. М. ЗАВЕРАЧ, С. Я. ПІДГАЙЧУК,
Н. С. МАШОВЕЦЬ, Н. М. ЯВОРСЬКА, Л. Р. ДАНЧУК
Хмельницький національний університет

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГАЛЬВАНІЧНИХ ШЛАМІВ ПІД ЧАС ВИГОТОВЛЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ТА ПОКРІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І СУМІШЕЙ

В роботі наведені короткі відомості про методи очищення стічних вод гальванічних виробництв з одночасною характеристикою утворених твердих шламів. Проведений аналіз публікацій щодо існуючих сучасних технологій переробки та утилізації гальванічних шламів, які накопичуються на промислових підприємствах різних регіонів України, з акцентуванням щодо їх використання під час виготовлення будівельних та покрівельних матеріалів і сумішей. Розглянуті можливості зацікавлення підприємств Хмельницької області у використанні гальваношламів під час виробництва широкого асортименту будівельної продукції.

Ключові слова: стічні води, гальванічні шлами, важкі метали, утилізація, будівельні матеріали, покрівельні матеріали.

Ye. ZAVERACH, S. PIDGAYCHUK, N. MASHOVETS, N. YAVORSKA, L. DANCHUK
Khmelnytskyi National University

PROSPECTS OF USING GALVANIC SLUDGE IN THE MANUFACTURE OF BUILDING AND ROOFING MATERIALS AND MIXTURES

The paper presents an analysis of recent publications on environmental safety and on electroplating waste treatment. The problems of utilization and secondary use of galvanic sludge, which are accumulated at industrial enterprises of different regions of Ukraine and on the territory of SE "Novator" (Khmelnytskyi) are considered. Based on the literature survey the use of galvanic waste as a raw material for the production of building and roofing materials and mixtures is analyzed in detail. Positive experience of sludge waste usage in the brick production at Irpin plant of building materials "Progress" is noted. It is shown that the usage of galvanic chromium-containing sludge in the production of mortars saves up to 10% of cement. The material on the application of the ferritization method for the treatment of highly concentrated wastewater and slurry suspensions of sludge is presented, the compositions of alkaline cements with the use of liquid ferritic waste are developed and the reliable fixation of heavy metals in the structure of alkaline cements is proved. The technical characteristics of such materials are quite high (39 – 45 MPa). Possibilities of sludge waste application in the production of different types of bricks are given. To improve the immobilization of heavy metals when using galvanic sludge in the production of bricks, up to 30 wt. % of glass waste are added to the mixture of materials. For co-utilization of chromium-containing galvanic sludges and oil wastes it is proposed to replace a part of bitumen with them in the production of waterproofing mastics and polymer-bitumen waterproofing materials, which will improve their physical and chemical properties. The researches on utilization of sludges of various galvanic productions by stabilization-hardening by asphalt emulsions are given. The obtained asphalt coatings are characterized by high hydrophobicity, inertness and extremely high stability to various environmental influences. The utilization technologies of galvanic sludges in the manufacture of construction and roofing materials and mixtures are the most promising for Khmelnytskyi region's industrial objects.

Key words: wastewater, galvanic sludge, heavy metals, utilization, building materials, roofing materials.

Постановка проблеми. Гальванічні виробництва відрізняються значною конкурентною спроможністю в порівнянні з іншими способами обробки поверхні матеріалів із-за низки переваг: можливість отримання покриттів на деталях складної конфігурації, легке регулювання товщини та структури покриттів, електроосадження таких сплавів і композиційних покриттів, отримання яких іншими способами ускладнене, а то й неможливе. Слід також відмітити простоту автоматизації та економічну ефективність гальванічних виробництв. На теперішній час нагальною проблемою сучасних гальванічних виробництв стало зменшення кількості різноманітних відходів, їх утилізація, розробка нових технологій, які б дозволяли отримати з відходів товарні продукти, що можуть бути використані, як на цьому підприємстві, так і на інших.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одна з найбільш гострих проблем сьогодення – це охорона навколишнього середовища, і відповідно, очищення промислових стічних вод є одним з найважливіших природоохоронних заходів. Стічні води гальванічних цехів та дільниць підприємств машинобудівної, електротехнічної і радіоелектронної галузей промисловості містять наступні компоненти-забруднювачі: солі важких металів, поверхнево-активні речовини, неорганічні кислоти, луги. Так у посібнику [1] чітко викладені загальні аспекти потенційної екологічної небезпеки гальванічного виробництва, визначені джерела утворення газоподібних, рідких та твердих відходів і методи їх знешкодження. Для очищення стічних вод гальванічних виробництв використовують хімічні (реагентні), іонообмінні та електрохімічні методи [1–3]. Слід зазначити, що електрохімічні методи, і зокрема, електрофлотація, електрокоагуляція, електродіаліз, електроекстракція, є досить перспективними, як в екологічному, так і економічному аспектах.

На теперішній час самими розповсюдженими методами очищення стічних вод залишаються реагентні, при яких іони металів під дією лужних реагентів: кальцій гідроксиду, кальцій або магній карбонату, взятих у значному надлишку, переходять у нерозчинний стан. Суттєві недоліки реагентних методів полягають у підвищених витратах реагентів на процес очищення, додатковому забрудненні стічних вод за рахунок попадання в них катіонів та аніонів реагентів, відносно низькому ступені очищення і,

головне, одержанні великих кількостей багатокомпонентних, хімічно нестійких та важко зневоднюваних шламів [1, 4, 5]. За масштабами нагромадження шламовідходи можуть бути порівнянні з природними копалинами. Так, у роботі [6] зазначається, що щороку на підприємствах України утворюється 10000–12000 т гальваношламів. У [7] вказується, що ще на початку 2000-х років на 80 промислових підприємствах м. Києва накопичилось близько 1700 т гальванічних шламів і в подальшому спостерігалась тенденція до їх зростання. На теперішній час на території ДП "Новатор" (м. Хмельницький), яке є одним із провідних підприємств України з нанесення гальванічних покриттів та виготовлення радіо- і електрообладнання, знаходиться більше ніж 1000 м³ шламів. Відомо [1, 6], що у відходах різних гальваноліній концентрації важких металів змінюються у широких межах (мг/кг): залізо 1100–110000; мідь 500–87000; цинк 100–50000; хром 50–25000; нікель 2–20000; кобальт 8–1000; свинець 137–7500; олово – 8700–72000; кадмій 54–2100.

У роботах [8–10] особливий акцент зроблено на практичні рекомендації щодо поводження з промисловими відходами на підприємствах, аналіз джерел утворення відходів, надання основних методів і технологій видалення та переробки відходів. Зокрема, у [8] докладно розглянуто утилізацію відходів різних промислових виробництв при виготовленні будівельних матеріалів. Автори роботи [9] навели головні особливості утилізації відходів в Україні та інших країнах, зупинились на специфіці відходів гальванічних виробництв та запропонували певні варіанти щодо усунення їх негативного впливу на навколишнє середовище. Видання [10] зосереджено на тому, як на основі знань про реалізацію різних методів переробки відходів, зробити правильний вибір шляхів їх оптимізації та визначення найбільш ефективного методу для певного виробництва. У книзі проілюстровано різні підходи до розв'язання проблем поводження з відходами та їх покрокова реалізація.

Найбільш застосована технологія обробки шламів гальванічних виробництв містить стадії ущільнення, зневоднення, які найчастіше реалізуються у сушарках фільтраційного типу, та захоронення. Вказані операції потребують значних енергетичних витрат. Внаслідок токсичності іонів важких металів, які містяться в шламах та їх розчинності в атмосферних опадах, особливо при підвищенні кислотності середовища, гальваношлами відносять до I–III класу небезпеки [11–13]. У відповідності з СанПіН 2.2.7.029-99 захоронення таких шламовідходів необхідно реалізовувати у герметичній упаковці на спеціальних полігонах, які повністю виключають винесення іонів важких металів у навколишнє середовище. Враховуючи значні витрати енергії, коштів і часу на захоронення шламів, марнування великих площ земель та втрати великої кількості кольорових металів, необхідно розробляти різноманітні технології утилізації гальванічних шламів. Тому і надалі залишається актуальним питання вторинного використання відходів певного гальванічного виробництва, їх переробка та застосування у якості сировини в інших галузях промисловості і можливо й сільського господарства.

Мета роботи. Головна мета даної роботи полягає в аналізі наукових публікацій щодо існуючих технологій переробки та утилізації гальванічних шламів, які накопичуються на промислових підприємствах різних регіонів України, а також висвітленні можливостей застосування цих відходів для виготовлення будівельних та покрівельних матеріалів і сумішей з фокусом на промислові об'єкти Хмельницької області.

Виклад основного матеріалу. Вибір найбільш оптимальної та вигідної технології переробки та утилізації шламів потребує всебічного дослідження їх фізико-хімічних властивостей. Умовно відомі технології переробки та утилізації гальванічних шламів можна розділити на декілька великих груп:

- обробка за допомогою пірометалургійних, гідрометалургійних, гідроелектрометалургійних та електроекстракційних методів для вилучення металів та їх сплавів і сполук (гідроксидів і солей) [13–17];
- застосування шламів в якості наповнювачів полімерних композиційних матеріалів, іммобілізація в полімерній матриці [14, 18];
- зв'язування з інертними речовинами та модифікування шламів для виробництв, де можуть бути використані специфічні властивості сполук важких металів, зокрема у виробництвах пігментів для лакофарбових матеріалів, кольорових полив, скляних, склокерамічних та керамічних виробів, ефективних сорбентів [6, 11, 14, 19–25];
- використання в якості сировинних компонентів для одержання будівельних та покрівельних матеріалів і сумішей [8, 13, 18, 26–32].

Ще раз підкреслюємо, що це розділення є достатньо умовним і в багатьох випадках переробка та утилізація шламовідходів поєднує технології, що належать до різних груп [13, 18, 24, 27].

Більш докладний огляд саме останньої групи технологій переробки та утилізації шламовідходів обумовлений двома причинами. По-перше, ці технології найбільш прості в плані швидкої практичної реалізації та не потребують значних капіталовкладень. Слід відмітити, що для виготовлення бетонних й асфальтобетонних сумішей та цементів шлами слід висушувати (низькотемпературна цементация), а при виробництві керамзиту у склад глиняної маси можливо залучити і вологий шлам (високотемпературна цементация) [26]. По-друге, у використанні гальваношламів при виготовленні будівельних та покрівельних матеріалів можна зацікавити ряд підприємств Хмельницької області: ТДВ «Хмельницькзалізобетон», ПАТ «Подільський цемент», «Цегельний завод м. Волочиськ» від ТОВ «Тернопільбуд», ТОВ «Бубнівський цегельний завод», ТОВ «ЦЕГЕЛЬНИК», ТОВ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ЦЕГЕЛЬНИК», ПРАТ «МАЙДАН-ВИЛЬСЬКИЙ КОМБІНАТ ВОГНЕТРИВІВ», ТОВ «Хмельницький завод керамзитового гравію». Наголошуємо на тому, що останнє підприємство є лідером у нашому регіоні та активно розвивається. Потрібно також врахувати, що компанія Golden Tile планує побудувати новий завод з виробництва

керамічної плитки у м. Полонне на базі Майдан-Вильського кар'єру [33]. Це буде міні-завод потужністю 5–6 млн м²/рік на базі колишнього Полонського фарфорового заводу з його повною реконструкцією. Продукція буде вироблятися відповідно до європейських форматів і дизайну.

Дослідження [6, 12] зосереджені на визначенні фізико-хімічних характеристик хромвмісних шламів гальванічних виробництв та їх застосуванні у виробництві в'язучих та будівельних матеріалів. У [6] визначений хімічний склад електрокоагуляційного шламу, який містить (мас. %): Fe 79 – 85; Cr 10 – 16; Na 1,9 – 3,6; Ca 0,9 – 2,3; Ni 0,015 – 0,1; Cu 0,01 – 0,035; Al 0,01 – 0,04; Zn 0,01 – 0,025. Шлам є сумішшю ферум гідроксидів з адсорбованими на них хром гідроксидами та ферум оксидами. Склад цих феритів-хромітів можна представити загальною формулою $x\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot y\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot z\text{H}_2\text{O}$.

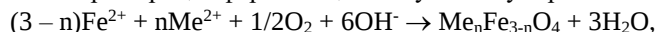
Запропоновано декілька шляхів утилізації шламовідходів. Найбільш перспективний шлях використання – це їх введення в кількості 3 – 5% як окремого компонента до глиномаси при виготовленні керамзиту, цегли, черепиці. Після формування та високотемпературної обробки шлам рівномірно розподіляється по об'єму виробів і переходить у зв'язаний стан, що виключає виділення важких металів. При цьому механічна міцність та морозостійкість продукції покращується на 15 – 20%, а водопоглинання знижується на 2%. Вже існує позитивний досвід застосування шламовідходів при виробництві цегли на Ірпінському комбінаті будівельних матеріалів «Прогрес». Інший спосіб утилізації ферит-хромітних шламів пов'язаний з їх додаванням до мінерального наповнювача асфальтобетонних сумішей, при цьому їх вміст не повинен перевищувати 1,6%.

У роботі [12] досліджували гальванічний хромвмісний шлам, який є суспензією з високим вмістом електролітів. Для зниження вологості до 88 – 90% шлам піддавали обробці на вакуум-фільтрах. У його склад входили (мас.%): $\text{Cr}(\text{OH})_3$ – 22; $\text{Fe}(\text{OH})_3$ – 2; $\text{Zn}(\text{OH})_2$ – 3; сульфати – 6; карбонати – 27; фосфати – 10; інше – 12. Дослідження показали, що гальванічний хромвмісний шлам доцільно використовувати у вигляді додатків до бетону та будівельних розчинів. За рахунок ефекту пластифікації у важких бетонах додавання шламу в кількості не більше 1% призводить до зниження витрат цементу на 10 – 15% при збереженні тих же показників міцності. Для будівельних розчинів також спостерігалась економія цементу до 10%. Наголошується на тому, що дозування добавки шламовідходів вимагає високої точності.

У роботі [13] проводилось випробовування ефективної гідроелектрометалургійної технології переробки на гальваншламах Київського мотозаводу, Київського радіозаводу, Артемівського заводу кольорових металів. Запропонована технологія дозволяє не тільки окремо вилучити з відходів мідь, нікель та хром, але й мінімізувати залишок після переробки. Отриманий залишок містить кальцій сульфат та кальцій алюмосилікат з незначними домішками кольорових металів, є нешкідливим і може бути використаний в якості пластифікатора до бетону.

В [24, 27] для переробки висококонцентрованих стічних вод та суспензій шламу застосовували метод феритизації, який характеризується високою ефективністю. Відомо, що відходи гальванічних виробництв, які містять високотоксичні сполуки нікелю, частка яких досягає до 20% від загального вмісту важких металів, крім екологічного навантаження на довкілля, призводить до втрати достатньо дорогого кольорового металу. Феритизація характеризується більшою ефективністю та рядом переваг в порівнянні з розповсюдженим реагентним методом, зокрема дозволяє отримати в процесі очищення практично нерозчинні сполуки нікелю та інших важких металів.

При феритизації до нагрітого до 40–45 °C розчину чи суспензії додають необхідну кількість розчинів ферум (II) сульфату та натрій гідроксиду. При подальшому нагріванні до 60–75 °C через суміш з певними витратами барботують повітря. Процес феритизації описується сумарною хімічною реакцією



де n змінюється в межах від 0 до 1. Перебіг процесу феритизації та склад одержаних феритів важких металів визначається температурою, рН реакційної суміші, питомими витратами солі феруму, часом барботування.

Рідкі та тверді відходи, одержані після феритизації висококонцентрованих стічних вод, автори роботи [27] запропонували застосувати для виготовлення двох видів цементів: шлаколузжого і лузжого композиційного та бетонів на їх основі. Лузжні цементи відрізняються унікальними експлуатаційними властивостями і можуть містити у своєму складі до 95% відходів та супутніх продуктів промисловості, а саме шламу, паливних зол, доменних гранульованих шлаків тощо. Рідкі відходи використовували як затворювачі цементів, а тверді – як наповнювачі.

Методом атомно-абсорбційної спектроскопії встановлено, що рідкі відходи складались з (мг/л): SO_4^{2-} – 25500; Cl^- – 1186; $\text{Fe}^{\text{заг}}$ – 0,1; Ni^{2+} – 0,42; рН – 10,21. Фазовий склад твердих відходів, визначений методом порошкової дифракції, був наступним (мас.%): Fe_2O_3 – 45,3; Fe_3O_4 – 41,2; NiO – 11,9; NiFe_2O_4 – 1,6. Перед введенням до цементів осад подрібнювали до фракції 0,5 – 1 мм. Проведені дослідження показали, що експлуатаційні характеристики цементів, виготовлених з використанням відходів не погіршились, а вилюговування важких металів з цементів було низьке або практично відсутнє.

Досліджувані цементи були апробовані для виготовлення бетонних сумішей. Одержані бетони показують високу інтенсивність кінетики набору міцності, величина якої досягла 45 МПа за 28 діб. Порівняння властивостей отриманого матеріалу з базовим доводить, що використання відходів не впливає на міцність бетону навіть при введенні їх значної кількості.

Таким чином, авторами було розроблено склади лузжних цементів з застосуванням рідких відходів феритної очистки та доведено надійну фіксацію важких металів у структурі лузжних цементів. Матеріали на

основі цих цементів рекомендовані для використання в будівництві нежитлових будівель та споруд. Було запропоновано також склади бетонів загальнобудівельного призначення на основі лужних цементів з застосуванням високого наповнення продуктами водоочистки, експлуатаційні показники таких бетонів досить високі, зокрема міцність досягає 39–45 МПа.

Фокус робіт [28–30] був зосереджений на пошуках можливостей застосування шламовідходів при виробництві різних видів цегли. У [28] для виготовлення цегли використовували три типи глинистої сировини (червона, жовта і чорна) в рівних співвідношеннях з гальванічними шламами, при цьому їх вміст не перевищував 5%. Фізико-хімічні характеристики отриманої суміші досліджували методами рентгенофлуоресцентного та рентгеноструктурного аналізу, а також CHNS хімічного аналізу. Цегла виготовлялась за стандартною технологією з відпалюванням при 950 °C протягом 1 год. Було проведено порівняння інженерних характеристик цегли без та з шламами, а саме щільності, адсорбції води, наявності відкритих пор, водопоглинання, міцності на стискування. Встановлено, що додавання гальваношламів зменшило лінійну усадку та загальну щільність цегли, до того ж вона характеризувалась нижчою відкритою поруватістю. Скануюча електронна мікроскопія та визначення розподілу пор за розмірами показали, що при додаванні шламовідходів в основному формуються закриті пори, що призводить до покращення механічних властивостей. При проведенні тестів вилугування з відпаленої цегли зі шламами не спостерігається вилучення важких металів, тобто в цеглі вони перебувають в зв'язаному (інертизованому) стані.

В [29] запропонована методика для покращення іммобілізації важких металів при використанні гальваношламів у виробництві цегли, яка полягає у додаванні до вихідної шихти до 30 мас.% скляних відходів. Це призводить як до покращення інженерних характеристик продукції, так і до суттєвого зниження концентрації важких металів після тестів вилугування. Останнє пов'язане з тим, що при високотемпературній обробці скляні відходи та андезин розплавляються та формують рідинну фазу, що полегшує масоперенесення та прискорює кінетику реакції формування стабільних шпінелей з випровадження важких металів, зокрема Cu та Zn. Ця рідинна фаза також заповнює пори та ущільнює цеглу, що відіграє важливу роль у запобіганні вилучення важких металів. Введення в цеглу крім гальваношламів до 30 мас.% порошку скляних відходів призвело до зниження поверхневої площі від 0,84 до 0,05 м²/г, а відкритої поруватості від 10,69 до 1,16%. При цьому міцність на стискування зросла від 20 до 32,7 МПа.

Дослідження [31] присвячене питанню утилізації шламів гальванічних виробництв та битого скла при виготовленні облицювальних панелей для фасадів багатоповерхових будинків та цокольних приміщень. Основним компонентом шихти була глина наступного складу (мас. %): SiO₂ – 67,5; Al₂O₃ – 10,75; Fe₂O₃ – 5,85; CaO – 2,8; MgO – 1,7; K₂O – 2,4; Na₂O – 0,7. Як другий компонент використовували гальваношлами машинобудівних підприємств, які містили (мас. %): Zn(OH)₂ – 11,3; SiO₂ – 7,08; Ca(OH)₂ – 16,52; Cr(OH)₃ – 9,31; Cr₂S₄ – 4,17; CaCO₃ – 40,25; CaO – 3,45; ZnO – 2,41; Cu(OH)₂ – 2,38; Ni(OH)₂ – 2,62; Mn(OH)₂ – 0,64; Pb(OH)₂ – 0,14. Іншими складовими були бите скло та борна кислота, введення якої покращує характеристики міцності та перешкоджає міграції важких металів у навколишнє середовище. Кількість гальваношламів у шихті досягала 5 мас.%, а вміст битого скла і борної кислоти становили 10–30 та 2,5–5 мас.% відповідно. Досліджувану керамічну композицію виготовляли при нижчих тиску та температурі в порівнянні зі стандартними облицювальними матеріалами: 15 МПа та 1050 °C на відміну від ≥ 30 МПа та 1100–1450 °C. Густина одержаних облицювальних матеріалів була нижча в порівнянні з аналогами, що призводило до зменшення маси облицюваних фасадів та цоколів, і відповідно до зниження навантаження на фундамент будівлі. Таким чином одержані облицювальні матеріали чудово підходять для багатоповерхових конструкцій. До того ж вони мають добрі механічні характеристики, знижені поруватість і водопоглинання та підвищену морозостійкість.

У роботі [18] для сумісної утилізації хромвмісних гальваношламів та нафтовідходів запропоновано замінити ними частину бітуму при виробництві гідроізоляційних мастик та полімербітумних гідроізоляційних матеріалів. Визначено, що одержані матеріали характеризуються покращеними фізико-хімічними властивостями, зокрема більш високими температурами розм'якшення та крихкості, нижчим водопоглинанням та водопроникністю, кращою міцністю зчеплення з основою.

Дослідження [32] присвячене утилізації шламів різних гальванічних виробництв шляхом стабілізації-затвердіння асфальтовими емульсіями. Були використані чотири види шламовідходів, хімічний склад сухого залишку яких визначений за допомогою рентгенофлуоресцентного аналізу (мас. %): зразок 1: Ca – 3,6; Cr – 2,6; Fe – 18; Cu – 1,5; Zn – 13,8; зразки 2 – 4: Ca – 13,4; Cr – 0,2; Fe – 8,2; Ni – 0,2; Cu – 0,7; Zn – 8,4; Cd – 2,0. Для більш надійної стабілізації гальванічних шламів перед використанням їх для заповнення дорожнього покриття запропонована комбінація двох водних асфальтових емульсій. Спочатку шлами змішують з асфальтовою емульсією з більш низькою в'язкістю, а потім формується вторинний бар'єр на основі асфальтової емульсії з більш високою в'язкістю. Саме асфальт вторинного бар'єру перешкоджає можливому вилугуванню важких металів. Проведені екотоксичні тести показали дуже низький рівень вилугування стабілізованих за допомогою асфальтових емульсій гальванічних шламів. Одержані асфальтові покриття відрізняються високою гідрофобністю, інертністю та надзвичайно підвищеною стабільністю до різноманітних впливів навколишнього середовища. Отже проглядається перспектива комерційного використання у масовому виробництві досліджуваних асфальтових емульсій з введенням гальваношламів та їх практичного застосування при будівництві сучасних доріг, розв'язок та магістралей.

Висновки. Таким чином для зниження негативного впливу на навколишнє середовище гальванічних шламів, які накопичились на існуючих промислових підприємствах та полігонах для

захоронення, слід проводити всебічні дослідження їх фізико-хімічних характеристик з наступними розробкою і/або пропозицією технологій переробки та утилізації шламовідходів. Найбільш перспективним для нашого регіону представляється використання технологій утилізації гальваншламів при виготовленні будівельних та покрівельних матеріалів і сумішей. Це дозволить задіяти потенціал існуючих підприємств з виробництва в'язучих і будівельних матеріалів, поліпшити якість виготовленої продукції та розширити її асортимент.

Література

1. Донченко М.І. Екологічна безпека гальванотехніки. Частина 1. Стічні води. Механічна та сорбційна очистка : навч. посіб. / М.І. Донченко, С.В. Фроленкова. – К. : НТУУ «КПІ», 2016. – 202 с.
2. Кунтий О.І. Гальванотехніка / О.І. Кунтий – Львів : Вид-во Національного університету «Львівська політехніка», 2004. – 236 с.
3. Виноградов С.С. Экологически безопасное гальваническое производство / С.С. Виноградов ; под ред. В.Н. Кудрявцева. – М. : ПИП «Глобус», 1998. – 302 с.
4. Филатова Е.Г. Разработка цеолитно-сорбционной технологии очистки сточных вод гальванического производства / Е.Г. Филатова, О.И. Помазкина, Ю.Н. Пожидаев // Химия и технология воды. – 2014. – Т. 36, № 6. – С. 559–566.
5. Кочетов Г.М. Комплексная очистка сточных вод промышленных предприятий с регенерацией тяжелых металлов / Г.М. Кочетов // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2000. – № 4. – С. 41–43.
6. Мельник О.С. Гальваношлами – токсичні відходи чи вторинна сировина? / О.С. Мельник // Вісник СумДУ. Серія технічні науки. – 2011. – № 4. – С. 186–190.
7. Губская Е.С. Утилизация отходов гальванического производства, содержащих Cr (VI) / Е.С. Губская // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2005. – № 2. – С. 33–36.
8. Абашина К.О. Конспект лекцій з курсу «Утилізація промислових відходів» / К.О. Абашина, О.В. Хандогіна. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2016. – 58 с.
9. Дуюн А.І. Утилізація гальванічних відходів / А.І. Дуюн, С.О. Гринь // Young Scientist. – 2018. – № 10. – С. 419–421.
10. Industrial Waste Treatment Handbook. Elsevier Inc., 2006. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-7963-3.X5000-0> (date of application: 15.04.2020).
11. Ханик Я.М. Проблеми утилізації відходів гальванічного виробництва [Електронний ресурс] / Я.М. Ханик, Н.Я. Цюра // Lviv Polytechnical National University Institutional Repository. – Режим доступу : <http://ena.lp.edu.ua> (дата звернення : 8.11.2019).
12. Мальцева И.В. Об использовании шламотходов при производстве строительных материалов / И.В. Мальцева [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 2. – Режим доступа : <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4880> (дата обращения : 4.01.2020).
13. Сидоренко И.Г. Разработка технологии переработки шламов гальванических производств / И.Г. Сидоренко, Г.М. Загоровский, В.В. Лобанов // Экология и промышленность. – 2010. – № 3. – С. 34–38.
14. Олышанская Л.Н. Утилизация гальванических шламов предприятий Саратовского региона в товары народного потребления [Электронный ресурс] / Л.Н. Олышанская, Е.Н. Лазарева, В.В. Егоров // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/utilizatsiya-galvanicheskikh-shlamov-predpriyatiy-saratovskogo-regiona-v-tovary-narodnogo-potrebleniya> (дата обращения : 4.01.2020).
15. Silva J.E. Leaching behaviour of a galvanic sludge in sulphuric acid and ammoniacal media / J.E. Silva, D. Soares [et al.] // Journal of Hazardous Materials. – 2005. – V. B121. – P. 195–202.
16. Miškufova A. Hydrometallurgical route for copper, zinc and chromium recovery from galvanic sludge / A. Miškufova, T. Havlik [et al.] // Acta Metallurgica Slovaca. – 2006. – № 12. – P. 293–302.
17. Клищенко Р.Е. Извлечение цветных металлов из шламов гальванического производства / Р.Е. Клищенко, Косоруков А.А. [и др.] // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2010. – № 2. – С. 46–50.
18. Кузнецова О.Н. Утилизация шламов гальванического производства [Электронный ресурс] / О.Н. Кузнецова, В.В. Сергеев. – 2015. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/utilizatsiya-shlamov-galvanicheskogo-proizvodstva> (дата обращения : 4.01.2020).
19. Andreola F. Synthesis of chromium containing pigments from chromium galvanic sludges / F. Andreola, L. Barbieri [et al.] // Journal of Hazardous Materials. – 2008. – V. 156. – P. 466–471.
20. Costa G. Malayaite ceramic pigments prepared with galvanic sludge as colouring agent / G. Costa, M.J. Ribeiro [et al.] // Dyes and Pigments. – 2008. – V. 78. – P. 157–164.
21. Andreola F. Physical-chemical characterization of a galvanic sludge and its inertization by vitrification using container glass / F. Andreola, L. Barbieri [et al.] // WIT Transactions on Ecology and the Environment. Waste Management and the Environment. – 2006. – V. 92. – URL : <https://doi.org/10.2495/WM060031> (date of application: 10.04.2020).
22. Magalhães J.M. Effect of experimental variables on the inertization of galvanic sludges in clay-based ceramics / J.M. Magalhães, J.E. Silva [et al.] // Journal of Hazardous Materials. – 2004. – V. 106B. – P. 139–147.
23. Magalhães J.M. Role of the mixing conditions and composition of galvanic sludges on the inertization process in clay-based ceramics / J.M. Magalhães, J.E. Silva [et al.] // Journal of Hazardous Materials. – 2004. – V. 106B. – P. 169–176.

24. Семенов В.В. Снижение экологической опасности шламов гальванических производств методом ферритизации : автореферат дис. на соискание науч. степени к.т.н. : 03.00.16 – экология / В.В. Семенов. – Ульяновск, 2004. – 24 с.
25. Синюшкин А.Н. Утилизация гальванических шламов / А.Н. Синюшкин, Супрунчук В.И. [и др.] // Вопросы химии и химической технологии. – 2012. – № 2. – С. 175–178.
26. Святохина В.П. Исследование реагентного метода очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов : автореферат дис. на соискание науч. степени к.т.н. : 03.00.16 – экология / В.П. Святохина – Уфа, 2002. – 23 с.
27. Кочетов Г.М. Розробка технології утилізації продуктів очистки промислових стоків методом феритизації у матриці лужних цементів [Електронний ресурс] / Г.М. Кочетов, Д.М. Самченко [та ін.]. – Режим доступу : <http://doi:10.15587/2312-8372.2018.152615> (дата звернення : 1.11.2019).
28. Pérez-Villarejo L. Valorization and inertization of galvanic sludge waste in clay bricks / L. Pérez-Villarejo, S. Martínez-Martínez [et al.] // *Applied Clay Science*. – 2015. – V. 105–106. – P. 89–99.
29. Linqiang Mao. Addition of waste glass for improving the immobilization of heavy metals during the use of electroplating sludge in the production of clay bricks / Linqiang Mao, Wenyi Zhang // *Construction and Building Materials*. – 2018. – V. 163. – P. 875–879.
30. Starostina I. The usage of iron-containing sludge wastes in ceramic bricks production / I. Starostina, M. Simonov [et al.] // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 365. – 2018. – URL : <https://doi:10.1088/1757-899X/365/3/032066> (date of application: 10.04.2020).
31. Vitkalova I. Industrial waste utilization in the panels production for high buildings facade and socle facing / I. Vitkalova, A. Torlova [et al.] // *E3S Web of Conferences* 33. – 2018. – URL : <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302062> (date of application: 10.04.2020).
32. Bednarik V. Stabilization/solidification of galvanic sludges by asphalt emulsions / V. Bednarik, M. Vondruska, M. Koutny // *Journal of Hazardous Materials*. – 2005. – V. B122. – P. 139–145.
33. У Полонному побудують завод з виробництва керамічної плитки. 30.05.2018 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://newskm.net/publications> (дата звернення : 9.04.2020).

References

1. Donchenko M.I. Ekologichna bezpeka halvanotekhniki. Chastyna 1. Stichni vody. Mekhanichna ta sorbtsiina ochystka : navch. posib. / M.I. Donchenko, S.V. Frolenkova. – K. : NTUU «KPI», 2016. – 202 s.
2. Kuntiy O.I. Halvanotekhnika / O.I. Kuntiy – Lviv : Vyd-vo Natsionalnoho universytetu “Lvivska politekhnika”, 2004. – 236 s.
3. Vinogradov G.S. Ekologicheski bezopasnoe galvanicheskoe proizvodstvo / G.S. Vinogradov ; pod red. V.N. Kudryavceva. – M. : PIP «Globus», 1998. – 302 s.
4. Filatova E.G. Razrabotka ceolitno-sorbtsionnoy tehnologii ochistki stochnykh vod galvanicheskogo proizvodstva / E.G. Filatova, O.I. Pomazkina, Yu.N. Pozhidaev // *Himiya i tehnologiya vody*. – 2014. – T. 36, № 6. – S. 559–566.
5. Kochetov G.M. Kompleksnaya ochistka stochnykh vod promyshlennyykh predpriyatiy s regeneratsiyei tyazhelykh metallor / G.M. Kochetov // *Ekotekhnologii i resursoberezhenie*. – 2000. – № 4. – S. 41–43.
6. Melnyk O.S. Halvanoshlami – toksychni vidkhody chy vtorynna syrovyna? / O.S. Melnyk // *Visnyk SumDU. Seriya tekhnichni nauky*. – 2011. – № 4. – S. 186–190.
7. Gubskaya E.S. Utilizatsiya othodov galvanicheskogo proizvodstva, soderzhashih Cr (VI) / E.S. Gubskaya // *Ekotekhnologii i resursoberezhenie*. – 2005. – № 2. – S. 33–36.
8. Abashyna K.O. Konspekt lektsii z kursu «Utylizatsiia promyslovykh vidkhodiv» / K.O. Abashyna, O.V. Khandolina. – Kharkiv : KhNUMH im. O.M. Beketova, 2016. – 58 s.
9. Duiun A.I. Utylizatsiia halvaninnykh vidkhodiv / A.I. Duiun, S.O. Hryn // *Young Scientist*. – 2018. – № 10. – S. 419–421.
10. Industrial Waste Treatment Handbook. Elsevier Inc., 2006. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-7963-3.X5000-0> (date of application: 15.04.2020).
11. Khanyk Ya.M. Problemy utylizatsii vidkhodiv halvanichnoho vyrobnytstva [Elektronnyi resurs] / Ya.M. Khanyk, N.Ia. Tsiura // *Lviv Polytechnical National University Institutional Repository*. – Rezhym dostupu : <http://ena.lp.edu.ua> (data zvernennia : 8.11.2019).
12. Malceva I.V. Ob ispolzovanii shlamothodov pri proizvodstve stroitelnykh materialov / I.V. Malceva [Elektronnyi resurs] // *Inzhenernyi vestnik Dona*. – 2018. – № 2. – Rezhim dostupa : <http://ivdon.ru/rumagazine/archive/n2y2018/4880> (data obrasheniya : 4.01.2020).
13. Sidorenko I.G. Razrabotka tehnologii pererabotki shlamov galvanicheskikh proizvodstv / I.G. Sidorenko, G.M. Zagorovskij, V.V. Lobanov // *Ekologiya i promyshlennost*. – 2010. – № 3. – S. 34–38.
14. Olshanskaya L.N. Utilizatsiya galvanicheskikh shlamov predpriyatiy Saratovskogo regiona v tovary narodnogo potrebleniya [Elektronnyi resurs] / L.N. Olshanskaya, E.N. Lazareva, V.V. Egorov // *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. – 2012. – Rezhim dostupa : <https://cyberleninka.ru/article/n/utlizatsiya-galvanicheskikh-shlamov-predpriyatiy-saratovskogo-regiona-v-tovary-narodnogo-potrebleniya> (data obrasheniya : 4.01.2020).
15. Silva J.E. Leaching behaviour of a galvanic sludge in sulphuric acid and ammoniacal media / J.E. Silva, D. Soares [et al.] // *Journal of Hazardous Materials*. – 2005. – V. B121. – P. 195–202.
16. Miškufova A. Hydrometallurgical route for copper, zinc and chromium recovery from galvanic sludge / A. Miškufova, T. Havlik [et al.] // *Acta Metallurgica Slovaca*. – 2006. – № 12. – P. 293–302.
17. Klischenko R.E. Izvlechenie cvetnykh metallor iz shlamov galvanicheskogo proizvodstva / R.E. Klischenko, Kosorukov A.A. [i dr.] // *Ekotekhnologii i resursoberezhenie*. – 2010. – № 2. – S. 46–50.
18. Kuznecova O.N. Utilizatsiya shlamov galvanicheskogo proizvodstva [Elektronnyi resurs] / O.N. Kuznecova, V.V. Sergeev. – 2015. – Rezhim dostupa : <https://cyberleninka.ru/article/n/utlizatsiya-shlamov-galvanicheskogo-proizvodstva> (data obrasheniya : 4.01.2020).
19. Andreola F. Synthesis of chromium containing pigments from chromium galvanic sludges / F. Andreola, L. Barbieri [et al.] // *Journal of Hazardous Materials*. – 2008. – V. 156. – P. 466–471.
20. Costa G. Malayaite ceramic pigments prepared with galvanic sludge as colouring agent / G. Costa, M.J. Ribeiro [et al.] // *Dyes and Pigments*. – 2008. – V. 78. – P. 157–164.
21. Andreola F. Physical-chemical characterization of a galvanic sludge and its inertization by vitrification using container glass / F. Andreola, L. Barbieri [et al.] // *WIT Transactions on Ecology and the Environment. Waste Management and the Environment*. – 2006. – V. 92. – URL : <https://doi:10.2495/WM060031> (date of application: 10.04.2020).
22. Magalhães J.M. Effect of experimental variables on the inertization of galvanic sludges in clay-based ceramics / J.M. Magalhães, J.E. Silva [et al.] // *Journal of Hazardous Materials*. – 2004. – V. 106B. – P. 139–147.

23. Magalhães J.M. Role of the mixing conditions and composition of galvanic sludges on the inertization process in clay-based ceramics / J.M. Magalhães, J.E. Silva [et al.] // *Journal of Hazardous Materials*. – 2004. – V. 106B. – P. 169–176.
24. Semenov V.V. Snizhenie ekologicheskoy opasnosti shlamov galvanicheskikh proizvodstv metodom ferritizatsii : avtoreferat dis. na soiskanie nauch. stepeni k.t.n. : 03.00.16 – ekologiya / V.V. Semenov. – Ulyanovsk, 2004. – 24 s.
25. Sinyushkin A.N. Utilizatsiya galvanicheskikh shlamov / A.N. Sinyushkin, Suprunchuk V.I. [i dr.] // *Voprosy himii i himicheskoy tekhnologii*. – 2012. – № 2. – S. 175–178.
26. Svyatohina V.P. Issledovanie reagentnogo metoda ochistki stochnykh vod ot ionov tyazhelykh metallov : avtoreferat dis. na soiskanie nauch. stepeni k.t.n. : 03.00.16 – ekologiya / V.P. Svyatohina – Ufa, 2002. – 23 s.
27. Kochetov H.M. Rozrobka tekhnologii utylizatsii produktiv ochystky promyslovykh stokiv metodom ferytyzatsii u matrytsi luzhnykh tsementiv [Elektronnyi resurs] / H.M. Kochetov, D.M. Samchenko [ta in.]. – Rezhym dostupu : <http://doi:10.15587/2312-8372.2018.152615> (data zvernennia : 1.11.2019).
28. Pérez-Villarejo L. Valorization and inertization of galvanic sludge waste in clay bricks / L. Pérez-Villarejo, S. Martínez-Martínez [et al.] // *Applied Clay Science*. – 2015. – V. 105–106. – P. 89–99.
29. Linqiang Mao. Addition of waste glass for improving the immobilization of heavy metals during the use of electroplating sludge in the production of clay bricks / Linqiang Mao, Wenyi Zhang // *Construction and Building Materials*. – 2018. – V. 163. – P. 875–879.
30. Starostina I. The usage of iron-containing sludge wastes in ceramic bricks production / I. Starostina, M. Simonov [et al.] // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 365. – 2018. – URL : <https://doi:10.1088/1757-899X/365/3/032066> (date of application: 10.04.2020).
31. Vitkalova I. Industrial waste utilization in the panels production for high buildings facade and socle facing / I. Vitkalova, A. Torlova [et al.] // *E3S Web of Conferences* 33. – 2018. – URL : <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302062> (date of application: 10.04.2020).
32. Bednarik V. Stabilization/solidification of galvanic sludges by asphalt emulsions / V. Bednarik, M. Vondruska, M. Koutny // *Journal of Hazardous Materials*. – 2005. – V. B122. – P. 139–145.
33. U Polonnomu pobuduiut zavod z vyrobnytstva keramichnoi plytky. 30.05.2018 [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://newskm.net/publications> (data zvernennia : 9.04.2020).

Надійшла / Paper received: 10.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 03.06.2020