

# Тема. ВИЛУГОВУВАННЯ В МЕТАЛУРГІЇ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

**Мета вивчення теми:** вивчити типи розчинників, види вилуговування, методи вилуговування, хімізм і технологію процесу вилуговування бокситів.

## План

- 1 Класифікація процесів вилуговування.
- 2 Методи вилуговування.
- 3 Технологічні особливості вилуговування бокситів за способом Байера.

**Ключові терміни і поняття:** вилуговування, вибірковість, розчинник, просте розчинення, перколяція, бактеріальне вилуговування, гетеротрофні та автотрофні бактерії, підземне вилуговування, чанове вилуговування, автоклавне вилуговування, агітаційне вилуговування, купчасте вилуговування, гостра пара, глуха пара, алюмінатний розчин, загальний модуль, каустичний модуль, хімічний вихід глинозему, теоретичний вихід оксиду алюмінію.

## 1 Класифікація процесів вилуговування

*Вилуговування* – процес вибіркового вилучення у водний розчин одного або кількох компонентів з руди, рудного концентрату, напівпродукту (недогарки, штейни, анодні шлами тощо) або іншого виду металовмісної сировини.

Вибірковість вилуговування досягають відповідним добром реагентів і створенням умов, за яких швидкості вилуговування різних компонентів неоднакові. До таких умов належать природа і концентрація реагенту, температура й тиск у процесі вилуговування, а також апаратурне оформлення процесу.

Так, під час вилуговування окиснених мідних руд ступінь розчинення супутніх мінералів можна регулювати, змінюючи кислотність розчину. В літній період розчини охолоджують до 29,5 °С. Підвищення температури понад цю межу мало впливає на вилуговування міді, але значно збільшує перехід у розчин домішок. Під час вилуговування окиснених мідних руд із розбавленою сульфатною кислотою насамперед реагують окиснені мінерали міді. Мінерали заліза і алюмінію (польовий шпат і серицит) вступають у взаємодію із сульфатною кислотою повільно. Тому для того, щоб досягти максимального вилучення міді при мінімальному переведенні в розчин домішок, тривалість вилуговування вибирають невеликою.

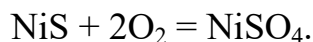
Вибір розчинника для вилуговування залежить від багатьох чинників, основними з яких є: хімічна й фізична природа матеріалу, який вилуговують; вартість розчинника; корозійна дія розчинника на апаратуру; селективність дії розчинника щодо матеріалу, який вилуговують; можливість регенерації

розчинника. Найпоширенішими розчинниками, які застосовують у процесі вилуговування, є вода, водні розчини солей, кислоти, луги.

*Воду* використовують для вилуговування недогарків сульфатизуючого і хлоруючого випалювання, а також для вилуговування  $\text{Re}_2\text{O}_7$  з пилу, утвореного під час випалювання  $\text{MoS}_2$ , з отриманням ренієвої кислоти:



Під час окиснення сульфідів у водному середовищі під тиском повітря або кисню за температури близько  $150\text{ }^\circ\text{C}$  вода є розчинником сульфатів, що утворюються:

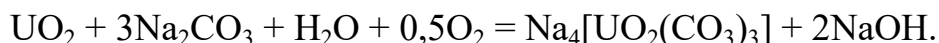


*Водні розчини солей.* Сульфат оксиду феруму (III) використовують для вилуговування сульфідних мінералів:



Сульфат феруму (II), що утворюється, можна окиснити повітрям і знову використовувати для вилуговування.

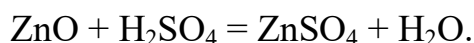
Карбонат натрію (сода) використовують для вилуговування уранових руд:



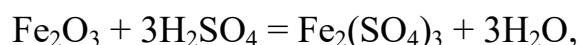
Хлорид натрію застосовують для вилуговування  $\text{PbSO}_4$ :



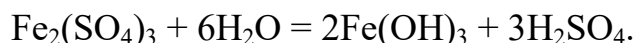
*Кислоти.* Сульфатна кислота, що є добрим розчинником при вилуговуванні багатьох руд, відрізняється низькою вартістю і чинить порівняно слабку корозійну дію на гідрометалургійну апаратуру. У багатьох випадках використовують відпрацьовані кислі електроліти після відповідного коригування концентрації кислоти. Окиснені руди легко вилуговуються розбавленою сульфатною кислотою:



Домішки, такі як оксид феруму (III), також розчиняються:



однак, знижуючи кислотність, їх можна осадити гідролітично:



Інші кислоти, такі як хлоридна і нітратна, використовують обмежено. Сірчисту кислоту почали недавно застосовувати для вилуговування бідних манганових руд. «Царську горілку» застосовують для вилуговування платинових руд, а також при рафінуванні золота і срібла.

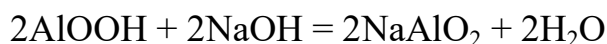
*Луги.* Гідроксид натрію використовують в основному для вилуговування алюмінію і бокситів, розкриття монацитових пісків, а також для вилуговування вольфрамітових і шеелітових руд. Гідроксид амонію застосовують для вилуговування з мідних і нікелевих руд, які утворюють розчинні аміакати.

Переваги вилуговування лугами: незначна корозія апаратури, можливість вилуговування руд з високим вмістом карбонатів, висока селективність (унаслідок хімічної інертності оксидів феруму щодо лугів).

Залежно від характеру фізико-хімічних процесів, що відбуваються при вилуговуванні, розрізняють два його види: просте вилуговування та вилуговування з хімічною реакцією.

*Просте розчинення.* В цьому випадку цінний компонент вилучається в розчин у складі сполуки, наявної у вихідному матеріалі (тобто вилуговування не супроводжується хімічною реакцією). В природі трапляється порівняно мало мінералів, добре розчинних у воді: це переважно хлориди лужних і лужноземельних металів: NaCl, KCl, MgCl<sub>2</sub>. Тому розчиненню, як правило, передують підготовчі операції переведення металу в розчинну форму – випалювання, спікання та ін. До простого розчинення належить процес вилуговування сольових алюмінієвих шлаків.

*Вилуговування з хімічною реакцією.* В цьому разі метал, наявний у вихідній сировині у складі малорозчинної сполуки, переводять у добре розчинну форму попередньою підготовкою сировини або використанням реагентів, розчинних у воді. Розчин для вилуговування є розчином кислоти, лугу або солі, у процесі вилуговування відбуваються реакції між оксидами або солями вихідної сировини і кислотами, лугами чи солями розчину. Зазвичай це обмінні або окисно-відновні реакції:



або



В реакторах для вилуговування пульпу підігривають або безпосереднім подаванням нагрівної водяної пари в пульпу (так звана *гостра пара*), або за допомогою змійовиків чи парових сорочок (так звана *глуха пара*), якщо розбавлення пульпи конденсатом неприпустиме.

За характером завантаження твердої речовини і рідини в часі розрізняють три *режими вилуговування*: періодичний, безперервний і напівбезперервний. За *безперервного режиму* здійснюється безперервне подавання в апарат або систему апаратів вихідних речовин і безперервне вивантаження продуктів реакції. Використовують проточний апарат або каскад з послідовно сполучених апаратів, у яких здійснюється прямотечійне або протитечійне вилуговування.

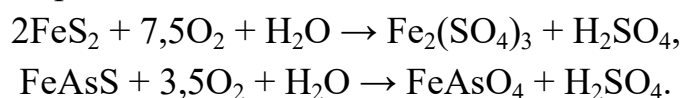
## 2 Методи вилуговування

Вибір методу вилуговування визначається характером руди і здатністю цільового компонента розчинятися в тому чи іншому розчиннику. До основних методів відносять вилуговування просочуванням (перколяцію), бактеріальне вилуговування, підземне і купчасте вилуговування руди у відвалах і купах,

агітаційне вилуговування (вилуговування перемішуванням), автоклавне вилуговування (вилуговування в автоклавах під тиском).

Вилуговування просочуванням (*перколяція*). Матеріал, що підлягає вилуговуванню, завантажують у чан з несправжнім днищем, покритим фільтрувальною тканиною. Розчин, який подають зверху, просочується крізь матеріал. Зазвичай чани працюють за принципом протитечії. Переваги методу: невелика витрата розчинника, можливість отримання концентрованих розчинів і відсутність дорогих операцій згущення та фільтрування. Процес придатний для пористих і зернистих матеріалів і не застосовується для матеріалів, схильних до злежування та утворення шару, що не фільтрується.

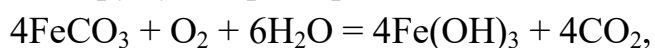
*Бактеріальне вилуговування.* Біогідрометалургійна технологія заснована на тому, що під впливом автотрофних бактерій типу *Thiobacillus ferrooxidans* (Th. fer.), які окиснюють сірку і залізо, сульфідів (пірит, арсенопірит та ін.), що містять благородні метали, окиснюються в слабкокислому водному середовищі за такими сумарними реакціями:



Бактерії, що беруть участь у процесах вилуговування, поділяють на два класи: гетеротрофні і автотрофні. *Гетеротрофні бактерії* використовують готові органічні речовини (жири, вуглеводи, протеїн), тоді як *автотрофні бактерії* існують за рахунок споживання неорганічних речовин. До класу автотрофних належать бактерії, які використовують у процесах вилуговування:

а) тіонові бактерії, наприклад типу *Thiobacillus thiooxidans* (Th. th.), здатні окиснювати сірку і тіосульфати до сульфатної кислоти;

б) залізобактерії (*Ferrobacillus*), джерелом енергії яких є реакції окиснення сполук двовалентного Феруму, зокрема реакція



гідроксид Феруму виділяється з клітин і відкладається на їхній поверхні;

в) тіонові залізобактерії *Thiobacillus ferrooxidans* (Th. fer.), що мають властивості як тіонових, так і залізобактерій. Цей тип бактерій широко використовують у процесах вилуговування. Вони здатні окиснювати сульфідів металів, сульфат феруму (II), тіосульфати, елементну сірку.

Метод біохімічного окиснення характеризується повнотою розкриття сульфідів, що містять благородні метали, простотою апаратурного оформлення і технічного обслуговування процесу, відносно безпекою і меншим ступенем впливу на довкілля. Проте метод має істотний недолік – його екстенсивність. Для інтенсифікації процесу використовують апарати з перемішуванням.

Бактеріальне вилуговування руд поділяють на купчасте і чанове.

Для *купчастого вилуговування* відвали складають на підготовленому цементованому майданчику, який повинен мати односторонній ухил для збирання розчинів у спеціальних збірниках. Так, мідь у результаті окиснення перетворюється на мідний купорос і переходить у розчин, потім її виділяють з водного розчину.

*Чанове вилуговування* застосовують для переробки концентратів. Доцільно застосовувати культури бактерій, що заздалегідь привчені до високих концентрацій міді, арсену та інших елементів. Так, під час чанового вилуговування успішно відбувається процес звільнення від арсену олов'яних концентратів і концентратів, що містять золото. У цих концентратах арсен міститься переважно у вигляді арсенопіриту – сульфїду, що легко окиснюється бактеріями типу *Th. fer.* Процес очищення концентратів, що містять 4–6 % арсену, триває близько п'яти діб.

Якщо мінералогічний склад відвалів і рельєф місцевості дозволяють, то іноді можна організувати процес перколяції на укосі, на якому розташовано відвал.

*Підземне вилуговування* полягає в подаванні вилуговувального розчину під землю безпосередньо в рудне тіло або в шар спеціально підготовленої руди і викачуванні розчину, що просочився крізь шар руди на поверхню. Відомо два основні варіанти підземного вилуговування – свердловинний (позашахтний) і шахтний. Підземне вилуговування, яке використовують зазвичай при глибині залягання рудного тіла не більш як 600 м, дає змогу різко скоротити обсяги капітальних вкладень і терміни будівництва підприємств, підвищити у 2–4 рази продуктивність праці, значно зменшити шкідливий вплив на природу.

*Автоклавне вилуговування* знаходить усе ширше застосування під час переробки руд і концентратів кольорових металів, а також промпродуктів (штейнів, концентратів від розділення файнштейну тощо). Розрізняють два основні методи автоклавного вилуговування: а) за відсутності кисню; б) за наявності кисню. У першому випадку для підвищення швидкості процесу вилуговування здійснюють за температури, що перевищує температуру кипіння розчину. Процес слід проводити в герметичних апаратах, здатних витримати тиск пари розчину за цієї температури. Прикладом такого процесу є вилуговування бокситів розчинами каустичної соди. У другому випадку тиск в автоклаві складається з тиску пари розчину і кисню (або повітря, якщо його використовують замість кисню). Метод застосовують для вилуговування сульфідних і окиснених руд. Окисне вилуговування характеризується підвищеною витратою кисню і високим вмістом вільної кислоти в кінцевих розчинах, тому необхідна додаткова операція – нейтралізація кислоти.

### **3 Технологічні особливості вилуговування бокситів за способом Байєра**

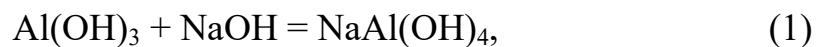
Найпростішою і розповсюднішою технологією переробки бокситів є спосіб Байєра, що являє собою замкнутий цикл, в основу якого покладено оборотну хімічну реакцію:



Попередньо подрібнений боксит (до 10 % розміром понад 110 мкм) піддають вилуговуванню впродовж 1–2 год оборотним лужним розчином з каустичним модулем  $a_k = 3,5$ . Для гібситових бокситів, які легко рокладаються, вилуговування відбувається впродовж 1 год за температури близько 100 °С розчинами з концентрацією  $\text{Na}_2\text{O}$  не більш як 150 г/л. Для бокситів, що важко розкладаються, до складу яких входить беміт або діаспор, необхідні жорсткіші умови вилуговування: вилуговування в автоклавах за температури 230 °С, концентрація оборотного розчину 300 г/л  $\text{Na}_2\text{O}$ , добавляння 3–5 % вапна від маси бокситу.

Вилуговування відбувається для переведення оксиду алюмінію з бокситів у розчин у вигляді алюмінату натрію. При вилуговуванні бокситів оборотними лужними розчинами можливий перебіг хімічних реакцій:

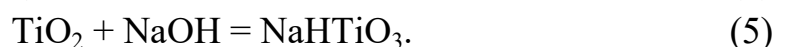
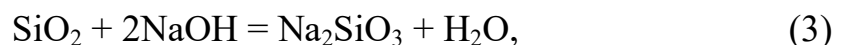
а) для гібситового бокситу



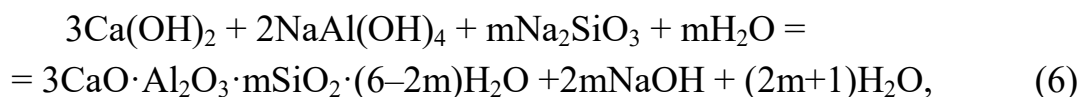
б) для бемітового й діаспорового бокситів



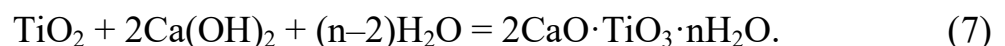
Поряд з основними реакціями (2.1) і (2.2) відбуваються й побічні, зумовлені наявністю у бокситі розчинних домішок та таких, що спричиняють у підсумку втрати алюмінію і лугу у вигляді гідроалюмосилікату натрію (ГАСН):



У зв'язку з тим, що вилуговування бокситів, які важко розкладаються, відбувається за наявності вапна, частина кремнезему зв'язується в гідрогранат, зменшуючи втрати лугу з червоним шламом:



інші домішки, взаємодіючи з вапном, також утворюють нерозчинні сполуки:



Вилуговування бокситу є гетерогенним процесом, що відбувається на межі поділу рідкої і твердої фаз. На швидкість і ступінь вилуговування глинозему з бокситу впливають такі чинники: температура вилуговування; концентрація лугу; каустичні модулі оборотного й алюмінатного розчинів; розмір часточок бокситу після розмелювання; швидкість перемішування пульпи; добавка вапна. З підвищенням температури збільшується швидкість хімічної реакції лугу з мінералами бокситу, зменшується тривалість процесу, забезпечуються умови розкриття мінералів, що важко розкладаються, також може бути знижена концентрація оборотних розчинів.

Вилуговування бокситу за низьких температур відбувається в кінетичній області. За високих температур (понад 200 °С) залежність швидкості від температури виражена значно слабкіше, оскільки вирішальне значення мають дифузійні чинники.

Технологію, апаратуру, схему, режими вилуговування передусім визначає якість бокситу, в остаточному підсумку – техніко-економічні показники. Температурний режим процесу змінюватиметься в межах від 100 °С до 300 °С. Низькотемпературне (100–110 °С) агітаційне вилуговування здійснюють для вилуговування легкорозкривних гібситових бокситів на підприємствах Індії, Гвінеї, Казахстану, Ямайки.

Отриманий алюмінатний розчин відокремлюють від нерозчинного залишку (червоного шламу) і піддають його декомпозиції.

Важливим показником, що характеризує алюмінатний розчин, є його *модуль* – молярне відношення концентрацій  $\text{Na}_2\text{O}$  і  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в розчині. Розрізняють загальний  $\alpha_{\text{заг}}$  і каустичний  $\alpha_{\text{к}}$  модулі розчину.

*Загальний модуль* – молярне відношення концентрацій загального лугу і глинозему в розчині, *каустичний модуль* – молярне відношення концентрацій каустичного лугу і глинозему в розчині:

$$\alpha_{\text{заг}} = 102 \cdot \text{Na}_2\text{O}_{\text{заг}} / (62 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3) = 1,645 \cdot \text{Na}_2\text{O}_{\text{заг}} / \text{Al}_2\text{O}_3,$$
$$\alpha_{\text{к}} = 102 \cdot \text{Na}_2\text{O}_{\text{к}} / (62 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3) = 1,645 \cdot \text{Na}_2\text{O}_{\text{к}} / \text{Al}_2\text{O}_3,$$

де 102 і 62 – молекулярні маси відповідно  $\text{Al}_2\text{O}_3$  і  $\text{Na}_2\text{O}$ .

*Хімічний вихід глинозему* (вилучення, %) характеризує ступінь вилучення  $\text{Al}_2\text{O}_3$  з бокситу в розчин, обчислюють як відношення кількості  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , що перейшов з бокситу в розчин, до його кількості у вихідному бокситі.

*Теоретичний вихід оксиду алюмінію* (%) при вилуговуванні бокситу – хімічний вихід, що був би досягнутий, якби втрати  $\text{Al}_2\text{O}_3$  з червоним шламом точно відповідали утворенню гідроалюмосилікату натрію (ГАСН):

$$\eta_{\text{Al}_2\text{O}_3, \text{T}} = 100 - 85 \cdot \frac{\text{SiO}_{2(6)}}{\text{Al}_2\text{O}_{3(6)}},$$

де  $\text{Al}_2\text{O}_{3(6)}$ ,  $\text{SiO}_{2(6)}$  – вміст відповідно  $\text{Al}_2\text{O}_3$  і  $\text{SiO}_2$  в бокситі, %.

### Питання для самоконтролю

1. У чому сутність процесу вилуговування? Як досягається його вибірковість?
2. Як вибирають розчинник для вилуговування?
3. Які рідкі реагенти використовують для вилуговування? Наведіть приклади.
4. Які види вилуговування розрізняють залежно від характеру фізико-хімічних процесів, що відбуваються при цьому?
5. Як активують вихідні речовини перед вилуговуванням?
6. Які апарати використовують для вилуговування металвмісної сировини у безперервному режимі?
7. В яких випадках застосовують вилуговування просочуванням?
8. У чому сутність бактеріального вилуговування? Які переваги має цей метод?
9. Які особливості характерні для підземного вилуговування?
10. Які основні реакції відбуваються при вилуговуванні бокситів за способом Байєра?

11. Які основні сполуки, що утворюються під час вилуговування, є джерелом втрат глинозему і лугу?
12. Чому високкременисті боксити недоцільно переробляти за способом Байєра?
13. Які чинники впливають на швидкість вилуговування бокситів?
14. За яких технологічних умов вилуговують боксити?
15. Як впливає концентрація оборотного розчину, величина каустичного модуля оборотного й алюмінатного розчинів, тривалість процесу на швидкість і повноту вилуговування?
16. Як впливає розмір часточок бокситу після розмелювання, добавляння вапна і температура вилуговування на швидкість і повноту вилуговування?

### РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Основи металургійного виробництва металів і сплавів : підручник / Д. Ф. Чернега та ін. ; за ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського. Київ : Вища школа, 2006. 503 с.
2. Уткин Н. И. Производство цветных металлов : учебник. Москва : Интермет Инжиниринг, 2000. 442 с.
3. Нестеренко Т. М., Червоний І. Ф., Грицай В. П. Теоретичні основи гідрометалургійних процесів : підручник. Київ : Вища школа, 2013. 408 с.
4. Нестеренко Т. М., Нестеренко О. М., Колобов Г. О., Грицай В. П. Виробництво алюмінієвих сплавів з рудної та вторинної сировини : навч. посіб. Київ : Вища школа, 2007. 207 с.
5. Теоретичні основи процесів кольорової металургії : підручник / В. С. Ігнат'єв та ін. ; за ред. І. Ф. Червоного. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 199 с.
6. Єгоров С. Г., Червоний І. Ф. Технологічні особливості процесів виробництва кольорових металів : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2011. 292 с.
7. Критська Т. В., Карпенко Г. В., Янко Т. Б. Технологічні особливості процесів виробництва кольорових металів : навч.-метод. посіб. Запоріжжя : ЗГИА, 2009. 113 с.
8. Колобов Г. А., Червоний І. Ф. Теоретичні основи рафінування кольорових металів : підручник. Запоріжжя : ЗДІА, 2011. 130 с.
9. Москвитин В. И., Николаев И. В., Фомин Б. А. Металлургия легких металлов : учебник. Москва : Интермет Инжиниринг, 2005. 416 с.
10. Насекан Ю. П. Виробництво глинозему : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 190 с.
11. Вольский А. Н., Сергиевская Е. М. Теория металлургических процессов : учеб. пособие. Москва : Металлургия, 1968. 344 с.
12. Нестеренко Т. М. Металургія легких металів : конспект лекцій. Запоріжжя: ЗДІА, 2006. 60 с.



13. Нестеренко Т. М., Скачков В. О., Воденнікова О. С. Теорія і технологія порошкової металургії : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 192 с.
14. Нестеренко Т. М., Воденнікова О. С. Конструкції технологічних агрегатів кольорової металургії : конспект лекцій. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 100 с.
15. Нестеренко, Т. М. Фізико-хімічні процеси та технологічні особливості процесів виробництва кольорових металів : метод. вказівки до практичних занять, самостійної роботи та виконання курсової роботи. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 128 с.
16. Бредихин В. Н., Маняк Н. А., Кафтаненко А. Я. Медь вторичная : монографія. Донецк : ДонНТУ, 2006. 416 с.
17. Нестеренко Т. М., Нестеренко О. М. Дослідження впливу попередньої обробки поверхні стружки титанових сплавів на вибір подальшої технології рециркулювання. *Інноваційні підходи до розвитку техніки і технологій*. В 2 кн. Кн.2 : монографія. Одеса, 2015. С. 76–88.
18. Колобов Г. А., Грищенко С. Г., Пожуев В.И. Цветная металлургия. Физико-химические и технологические основы : монографія. Запорожье : ЗГИА, 2010. 330 с.
19. Сидоренко С. А., Нестеренко Т. М., Ахінько О.В. Про комплексну переробку хлоридних відходів виробництва тетрахлориду титану. *Научный взгляд в будущее*. Одеса, 2017. Т. 1, Вип. 7. С. 59–63. DOI: 10.21893/2415-7538.2017-07-1-074.
20. Сидоренко С. А., Нестеренко Т. М., Ахінько О. В. Про гідрометалургійну переробку хлоридних відходів виробництва тетрахлориду титану. *Научный взгляд в будущее*. Одеса, 2018. Т. 1, Вип. 9. С. 71–75. DOI: 10.30888/2415-7538.2018-09-1-026.
21. Нестеренко Т. М., Матерова І. С. Дослідження способів збирання та переробки вторинної алюмінієвої сировини з лакофарбовим покриттям на поверхні. *Мир науки и инноваций*. Т. 5, Вип. 2(2). Іваново, 2015. С. 47–51.
22. Нестеренко Т. М. Перспективні напрями вдосконалення технології та обладнання для металургійної переробки вторинної алюмінієвої сировини. *Научные труды SWorld*. Т. 5, Вип. 4(41). Іваново, 2015. С. 41–45.
23. Нестеренко Т. М., Пилипко М. С. Рафінування флюсами алюмінієвих розплавів, отриманих із вторинної алюмінієвої сировини з лаковим і фарбовим покриттям. *Научный взгляд в будущее*. Одеса, 2017. Т. 2, Вип. 6. С. 4–9. DOI: 10.21893/2415-7538.2017-06-2-044.
24. Нестеренко Т. М., Грицай В. П., Нестеренко О. М. Про вдосконалення електротермічного способу отримання алюмінієво-силіцієвих сплавів. *Металургія*. Запоріжжя, 2014. Вип. 2(32). С. 61–66.

### **Інформаційні ресурси:**

25. Процессы и аппараты цветной металлургии : учебник / С. С. Набойченко и др. ; под ред. С. С. Набойченко. Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ,

2005. 700 с. URL: [http:// www.twirpx.com/file/842210/](http://www.twirpx.com/file/842210/) (дата звернення: 15.09.2020).
26. Nesterenko T. N., Nesterenko O. N. Degreasing of titanium chips for production of titanium powders by hydrometallurgical deoxidation method / *International periodic scientific journal "SWorld Journal"*. 2017. Issue 13. P. 220–223. DOI: 10.21893/2227-6920.2017-13.047. URL: <http://www.sworldjournal.com/e-journal/j13.pdf>. (дата звернення: 15.09.2020).
27. Технологічні особливості процесів виробництва кольорових металів : підручники, монографії, наукові статті. URL: [http:// www.twirpx.com](http://www.twirpx.com) (дата звернення: 15.09.2020).
28. Metallургическая и горнорудная промышленность : науч.-техн. и производ. журнал. URL: <http://www.metinfo.dp.ua/> (дата звернення: 15.09.2020).
29. Теорія та практика металургії : загально-держ. наук.-техн. журнал / Національна металургійна академія України. URL: <http://www.nmetau.edu.ua/ua/mdiv/i2004/p1504> (дата звернення: 15.09.2020).
30. Metal Journal : політехн. журнал. URL: <http://www.metaljournal.com.ua/>
31. Кольорова металургія : статті, каталоги. URL: <http://www.metallurgy.zp.ua/category/cvm/> (дата звернення: 15.09.2020).
32. Технологія виробництва кольорових металів : наукові журнали, період. видання / Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського. URL: Режим доступу: <http://www.nbuv.gov.ua/> (дата звернення: 15.09.2020).