

## ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

УДК 628.34, 628.337

<https://doi.org/10.31713/vt220239>

**Яцков М. В., к.т.н., с.н.с., Корчик Н. М., к.т.н., доцент,  
Пророк О. А., здобувач** (Національний університет водного  
господарства та природокористування, м. Рівне,  
poshta\_oleg\_vodnik@outlook.com)

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ХІМІЧНОГО ОСАДЖЕННЯ ФЕРУМУ З РІДКИХ ВІДХОДІВ З МЕТОЮ ОТРИМАННЯ ОСАДІВ ЗАДАНОГО СКЛАДУ І ВЛАСТИВОСТЕЙ**

У дослідженнях розглянуто фізико-хімічні параметри осадження на модельних розчинах, які є аналогами рідких ферумвмісних відходів з концентрацією феруму(III) 0,02–0,5 моль/дм<sup>3</sup>.

В результаті дослідження виявили, що оптимальним продуктом заданого складу, який придатний для подальшої утилізації шляхом переробки підприємствами чорної металургії, є метаягидроксид феруму, для отримання якого осадження потрібно проводити в наступному діапазоні параметрів: до рН = 7 - 7,5 при Ен = 160 - 180 мВ; швидкість змішування витримувати ~ 180 об/хв; при підвищеній температурі до 35° С; мольне співвідношення реагентів витримувати згідно з стехіометричним; осад відстоювати протягом 8 годин.

**Ключові слова:** ферум; отримання сполук заданого складу із розчинів; висококонцентровані металовмісні відходи (ВКМВ); концентровані стічні води (КСВ); осади; гальванічні стічні води; гальванічне виробництво (ГВ).

#### **Вступ**

Відомо, що основною умовою подальшого використання осадів (шламів), які утворюються в системах очищення рідких відходів є зазначені їх хімічні та фізико-хімічні властивості.

Утворені осади (шлами), що утворюються при очищенні рідких відходів (стічних вод) гальванічних виробництв можна віднести до категорії висококонцентрованих металовмісних відходів (ВКМВ). В існуючих системах очищення стічних вод гальванічного виробництва, що включають стадії хімічного осадження, розділення

та зневоднення осаду, які поступають від основних технологічних операцій та промивання, дослідження технологічних параметрів щодо осадів пов'язано в основному з фізичними процесами відстоювання та зневоднення. Через це порівняно мало кількісних даних, які характеризують фізико-хімічні властивості осадів залежно від технологічних параметрів у процесі їх утворення з метою визначення способу їх подальшої переробки [1, С. 150–162]. Для отримання осадів заданого складу необхідно розглядати комплекс фізико-хімічних параметрів осадження, що впливають на стадії утворення первинного осаду з гомогенної системи та вторинної взаємодії з компонентами розчинів (хемостаріння) [2, С. 7, 39–49].

При цьому на практиці гальванічні та інші висококонцентровані металовмісні шлами (осади) за масштабами нагромадження в деяких районах України можна прирівняти до природних копалин. Часто вміст важких кольорових металів в таких відходах більше ніж в рудах, які використовуються для їх виробництва. Також слід враховувати, що при їх знаходженні на полігонах деякі сполуки важких металів під дією зовнішніх фізико-хімічних факторів переходять у розчинні форми і проникають у ґрунти та дренажні води, забруднюючи навколишнє природне середовище (НПС) [3, С. 120].

Таким чином дослідження параметрів хімічного осадження феруму з рідких відходів з метою отримання осадів заданого складу і властивостей є актуальною задачею.

#### *Огляд інформації по темі дослідження*

Сьогодні все більш актуальними стають технології, які дозволяють ефективно вилучати метали із гальванічних шламів і стічних вод: переробка відходів із шламів вилуговуванням, використання відходів в технологічних процесах, переробка відходів на власних виробництвах, отримання шламів більш підготовлених до повторного використання із забезпеченням постійного складу осадів.

Найбільш поширеним методом очищення металовмісних стічних вод гальванічного виробництва є реагентний, що включає як основну стадію хімічне осадження. В системах реагентного очищення стічних вод розроблені типові технологічні схеми, що включають наступні операції: відновлення  $\text{Cr}^{6+}$ , окиснення ціанід-йонів, нейтралізація і осадження, флокуляція, розділення рідкої та твердої фази, зневоднення шламів, глибоке доочищення [4].

Одним із способів переробки є переробка шламів вилуговуванням, яка включає наступні операції: дозування 5–15%  $H_2SO_4$  до шламу, окислення  $Fe^{2+}$  до  $Fe^{3+}$  в реакторі окиснювачі, обробка в катодних і анодних камерах електролізера, концентрування в низькотемпературних випарювачах. Операції здійснюються ступінчатим протитоком в спеціальних касетах з фільтруючими перегородками для виділення осаду (шламу) після кожної стадії. При цьому забезпечується: селективне осадження  $Fe^{3+}$  і  $Cr^{3+}$ , осадження основних солей карбонатів  $Zn^{2+}$  і  $Ni^{2+}$  з наступним розчиненням їх в кислоті та катодним вилученням в електролізерах з нерозчинним анодом, вилучення  $Cu^{2+}$  контактним виділенням (цементациєю) на сплаві Zn-Ni [5, С. 152–168]. Недоліками цього методу є: складність апаратури та контролю уникнення осадження побічних продуктів, висока витрата електроенергії, нестабільність процесу електролізу.

Відома технологія переробки відходів на власному виробництві, що передбачає регенерацію сульфатної кислоти з поверненням в технологічний процес, відновлення феруму до металічного порошку в електролізерах. Відновлений залізний порошок підлягає сушці і наступному випалюванню в печі з киплячим шаром. Вважається, що шлами, які утворюються в системах електрохімічного очищення стічних вод є найбільш підготовленими для подальшої переробки [6, С. 54–56]. Проте процес осадження металу на катоді є неоптимальним через низьку швидкість і витрату електроенергії.

Незважаючи на наявні прогресивні методи реагентного очищення, на практиці наявна мала кількість даних, які характеризують фізико-хімічні властивості осадів і залежність їх складу від технологічних параметрів хімічного осадження. Як правило, задовольняються даними і методичним описанням рецептурного характеру, яке не забезпечує сталий склад і властивості осадів. Через це склалася ситуація, при якій дослідники і технологи на виробництвах не можуть здійснювати процес хімічного осадження як стадію реагентного очищення, яке б включало добування осадів (шламів) із заданими технологічними і споживчими властивостями.

Враховуючи вищеописане вважаємо, що можливість переробки (утилізації) необхідно закладати в саму технологію осадження, а саме в технологію очищення стічних вод. Тому в цій роботі розглядаємо основні технологічні схеми реагентного очищення стічних вод та основні параметри отримання осадів (шламів)

постійного заданого складу, придатних для подальшої переробки, а саме: температуру, швидкість перемішування, початкову концентрацію реагентів, мольне співвідношення реагентів, рН і Eh, тривалість відстоювання осаду.

*Об'єкт і методика дослідження*

Об'єктом дослідження є модельні металовмісні рідкі відходи, що містять йони: феруму із концентрацією від 0,02 моль/дм<sup>3</sup> до 0,5 моль/дм<sup>3</sup>, які є аналогами технологічних висококонцентрованих розчинів та стічних вод гальванічних виробництв та осади (шлами) після їх реагентної обробки.

В роботі розглянуто процеси осадження досліджували осади, які відносяться згідно з класифікацією осадів Бема і Нікласена: до другої групи, сполуки тривалентних елементів, такі як  $Fe(OH)_3$ ,  $FeOOH$ , для яких характерною є початкове утворення активних метастабільних форм, які потім перетворюються в стабільні форми кристалічної будови [2, С. 85–89, 90–95].

*Методи дослідження*

Визначення концентрацій висококонцентрованих розчинів і суспензій проводилися за загальними методиками вимірювання, наведеними в табл. 1 [7, С. 255–292].

Таблиця 1

Методики вимірювання концентрацій речовин

№	Параметр	Методика вимірювання
1	Сухий залишок	КНД 211.1.4.042-95
2	Визначення вмісту завислих речовин	КНД 211.1.4.039-95
3	Водневий показник рН	МВВ № 081/12-0317-06
4	Окисно-відновний потенціал Eh	МВВ № 081/12-0317-06
5	Температура	МВВ № 081/12-03311-06
6	Вміст хлоридів	КНД 211.1.4.037-95
7	Вміст сульфатів	п. 10 ДСанПіН 2.2.4-171-10
8	Вміст феруму $Fe^{2+}$	МВВ № 081/12-0175-05
9	Вміст феруму $Fe^{3+}$	МВВ № 081/12-0175-05

Стадію фізико-хімічного процесу утворення первинного осаду із гомогенної системи та утворення вторинного осаду (в результаті взаємодії із сольовим розчином) досліджували методом потенціометричного титрування.

### Основна частина

В основу експериментальних досліджень покладені основні теоретичні положення хімічного осадження металів, які включають в себе наступні фізико-хімічні процеси (які визначаються явищами гідратації, коагуляції та кристалізації):

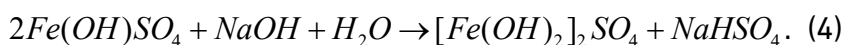
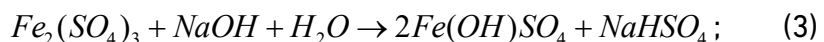
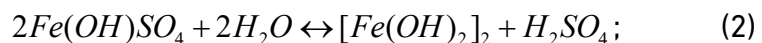
1) індукційний період, де відбуваються в основному лише дисперсні перетворення із наступним початком утворення нової фази та супроводжується дегідратацією частинок розчину, виникнення активних центрів у формі активних комплексів агрегатів молекул, які утворюють зародки нової твердої фази (осаду), з наступною стадією початку утворення осаду;

2) утворення та фізико-хімічне старіння осаду, де відбуваються фазово-дисперсні та структурні перетворення, що призводить до зміни його розчинності та складу під впливом сольових компонентів системи [2, С. 50–69; 4, С. 220–282].

Тому для кожного типу осаду визначали фактори, що впливають на процеси добування осадів заданого складу. При цьому також враховувався диференційоване правило осадження (ефект Танаєва). Згідно з теорією хімічного осадження [2, С. 50; 4, С. 88–102] вважаємо, що основними факторами, що впливають на процес отримання осадів заданого складу є: значення рН та Еh в процесі осадження; мольне співвідношення реагентів; температура; концентрація осаджувача; концентрація металів в розчині; умови масопередачі (інтенсивність перемішування) та відстоювання, які визначають характер дисперсних, фазово-дисперсних та структурних перетворень.

*1. Дослідження фізико-хімічних параметрів добування ферум (III)-вмісних осадів заданого складу*

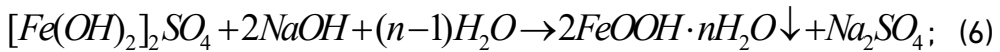
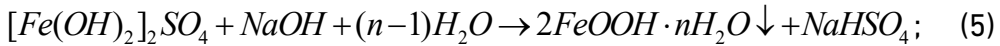
При дослідженні систем  $Fe_2(SO_4)_3 - NaOH - H_2O$  методом потенціометричного титрування – отримані дані свідчать про те, що на першій стадії (період індукції) проходження індукційного періоду відбувається в діапазоні: рН = 2-2,8 і Еh = 660-500 мВ ( $r_{H_2} = 26,7-22,8$ ), яке можна описати наступною хімічною моделлю:



На першій стадії (період індукції) як результат реакції гідролізу

та подальшої нейтралізації утворюється основна сіль, яку, як вважаємо, можна записати наступною хімічною моделлю ( $\text{pH} = 2,4 - 2,8$ ,  $E_h = 590 - 500$  мВ,  $rH_2 = 25,1 - 22,8$ )  $[\text{Fe}(\text{OH})_2]_2\text{SO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ .

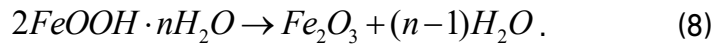
Друга стадія (період вторинної гетерогенної взаємодії із хемостарінням) представлена відповідною хімічною моделлю в діапазоні:  $\text{pH} = 2,8 - 7$  і  $E_h = 550 - 230$  мВ ( $rH_2 = 22,8 - 22$ ):



Як результат реакції подальшої нейтралізації утворюється гідроксид феруму (III) складу  $\text{FeOOH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{pH} = 2,8 - 3,5$ ,  $E_h = 550 - 440$  мВ,  $rH_2 = 22,8 - 22,2$ ), при цьому відбувається нейтралізація продуктів гідролізу ( $\text{HSO}_4^-$ ).

В табл. 2 наведені результати потенціометричних дослідів, а саме  $\text{pH}$ ,  $E_h$ , а також  $rH_2$ , що характеризують термодинамічну стійкість окремих компонентів водної системи.

Отриманий осад гідроксиду феруму(III) є хімічно нестійким і в подальшому піддається хімічному розкладу, що позитивно впливає на процес дегідратації:



Таблиця 2

Характеристика термодинамічної стійкості системи залежно від параметрів системи

№	Діапазон			рК	Тип сполук, в якій перебуває йон металу	Вміст хімічно-зв'язаної $\text{H}_2\text{O}$ , мас %
	рН	$E_h$ , мВ	$rH_2$			
0	0–2	>660	>26,7	1	$\text{H}^+$ та $\text{Fe}^{3+}$	24%
1	2–2,4	660–590	26,7–25,1	2,2	$\text{H}^+$ та $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$	24%
3	2,4–2,8	590–500	25,1–22,8	2,7	$\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ та $\text{H}^+$	24%
4	2,8–3,5	550–440	22,8–22,2	3,3	$\text{FeOOH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ та $\text{HSO}_4^-$	26,6%
5	2,5–7	580–230	25–22	3,5	$\text{NaHSO}_4$	-
6	5,5–10	330–120	22,4–22	7	$\text{Na}_2\text{SO}_4$ та $\text{OH}^-$	-

Осад гідроксиду феруму  $FeOOH \cdot nH_2O$ , згідно з класифікацією Бема і Нікласена [2, С. 36–88], належать до 2 групи, для яких характерне утворення активних метастабільних форм у початковому періоді, які потім перетворюються в стабільні кристалічні форми.

Таким чином для отримання осаду заданого складу оптимальним є гідроксид феруму  $FeOOH \cdot nH_2O$ , який легко зневоднюється, а продукти зневоднення придатні для подальшого використання. При цьому осадження необхідно проводити до досягнення діапазону параметрів: рН = 7 - 7,5 при Eh = 160 - 180 мВ ( $rH_2 = 20,2 - 20,5$ ).

2. Дослідження впливу фізико-хімічних параметрів на утворення вторинного осаду

При дослідженні методом потенціометричного титрування системи  $Fe_2(SO_4)_3 - NaOH - H_2O$  отримані дані свідчать про те, що на стадії вторинної гетерогенної взаємодії отриманий в ході нейтралізації феруму(III) осад практично складається із  $FeOOH \cdot nH_2O$ , що значно спрощує процес отримання осаду заданого складу, при цьому підвищення температури позитивно впливатиме на склад та фізико-хімічні властивості отриманого осаду.

Таблиця 3

Вміст йонів  $Fe^{3+}$  в осаді

№ проби	Вміст йонів в осаді, %				
	$Fe^{3+}$	$OH^-$	$SO_4^{2-}$	$Na^+$	Вологість
1	70	-	30	-	-
2	46,2	14	13,2	-	-

Про це свідчать дані хімічного аналізу складу утвореного первинного осаду (табл. 3), а також співвідношення кількостей реагенту-осаджувача і осаджуваного компонента у вихідній суміші  $OH^- / Fe^{3+} = 3$ . Про незмінність складу осаду основної солі в період її синтезу можна судити по стабільності співвідношення  $OH^- / Fe^{3+}$  в осаді (табл. 4).

В подальшому при продовженні дозування реагенту (гідроксиду натрію) відбувається нейтралізація продуктів гідролізу у вигляді гідроксосульфату натрію та побічних сульфатовмісних продуктів. Слід також враховувати, що для повноти осадження йонів феруму відсутня необхідність значного надлишку реагента-

осаджувача вище стехіометричного відношення  $OH^- / Fe^{3+} = 3$  через низьке значення добутку розчинності (ДР) гідроксиду.

Таблиця 4

Визначення практичного витрати реагенту відносно теоретичного

№ з/п	C <sub>поч</sub> , моль/дм <sup>3</sup>	C <sub>кін</sub>		t, °C	V <sub>пер</sub> , об/хв
		практичне	теоретичне, $FeOOH \cdot nH_2O$		
1	0,02	0,32	0,4	20	180
2	0,1	1,6	2,0	20	
3	0,5	9,8	10,1	20	
4	0,02	0,55	0,7	35	
5	0,1	3,11	3,3	35	
6	0,5	10,4	18,2	75	

Тому для отримання осаду попередньо заданого складу із заданими фізико-хімічними властивостями головним є проведення процесу осадження за таких технологічних умов, за яких витрата реагенту-осаджувача максимально відповідає стехіометричній кількості  $OH^- / Fe^{3+} = 3$  моль/моль), необхідної для повного осадження йону металу у вигляді чистого метагідроксиду.

Оскільки вторинна взаємодія (хемостаріння) є гетерогенним процесом і має виражений топохімічний характер [2, С. 77–84, 90–107], де відбуваються фазово-дисперсні та структурні перетворення, то відповідно хімічний склад кінцевого осаду і проходження хімічної взаємодії залежить від конкретних технологічних параметрів (в яких здійснюється міжфазовий контакт): інтенсивності перемішування суспензії, температури реакційного середовища, тривалості контакту, швидкості дозування реагенту осаджувача. Для визначення впливу технологічних умов осадження було розглянуто експериментальні дані дослідження в системі  $Fe_2(SO_4)_3 - NaOH - H_2O$ , отримані методом потенціометричного титрування та хімічного аналізу.

### 2.1. Вплив інтенсивності перемішування

Згідно з отриманими експериментальними даними системи  $Fe_2(SO_4)_3 - NaOH - H_2O$ , встановлено незначний вплив інтенсивності перемішування на структуру отриманого осаду.

На підставі отриманих даних, для осадження йонів  $Fe^{3+}$  рекомендовано швидкість перемішування в межах 90–180 об/хв. При цьому відмічається, що при малих швидкісних градієнтах перемішування (<90 об/хв) утворюються крупні і рихлі



частинки, що негативно впливає на кінцеві властивості отриманого осаду. При великому значенні швидкісного градієнту перемішування (>180 об/хв) утворюються щільні структури, але меншого розміру, що веде до утворення більш стабільного колоїду, що негативно позначається на подальший процес розділення (фільтруванням чи відстоюванням).

### 2.2. Вплив температури

Згідно з отриманими експериментальними даними дослідження системи  $Fe_2(SO_4)_3 - NaOH - H_2O$  прослідковується значна чітка залежність впливу температури реакції на структуру і хімічний склад отриманого осаду. Збільшення температури в цілому веде до підвищення виходу гідроксидів.

Відповідно до отриманих даних підвищення температури до 35° С під час реакції у період вторинної гетерогенної взаємодії дозволяє значно покращити його фізичні властивості.

Отримані осади гідроксиду феруму (III) (2 клас осаду за класифікацією) дегідратується із підвищенням температури, тому може бути представлений у формі низьководних кристалогідратів, де лишається лише хімічно зв'язана вода, через що легше буде піддаватися фільтруванню і зневодненню.

### 2.3. Вплив початкової концентрації металу в водній системі

Розглянувши отримані експериментальні дані дослідження систем  $Fe_2(SO_4)_3 - NaOH - H_2O$ , прослідковується, що при підвищенні концентрації вихідного розчину відбувається збільшення розчинності гідроксосульфату та гідроксиду у зв'язку із зміщенням рівноваги у бік йонів металу  $Fe^{3+}$  і гідроксид йонів  $OH^-$  та зміною йонної сили розчину, що підтверджується експериментальними даними

$$K_{SP} = \frac{[Me^{3+}(aq)]^m \cdot [(OH)_3(aq)]^n}{[Me(OH)_3(s)]} \quad (11)$$

Зниження виходу гідроксиду із ростом концентрації насамперед пов'язане із гетерогенністю реакції, оскільки вона є лімітуючим фактором у цьому процесі.

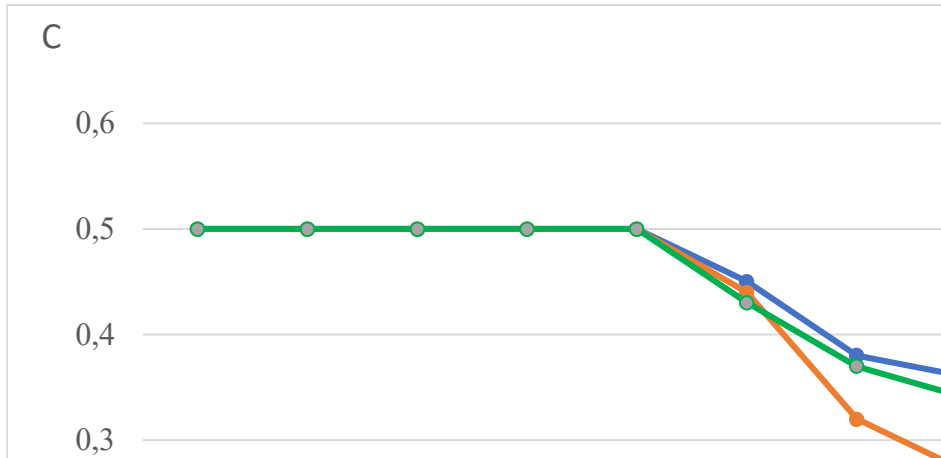


Рис. 1. Концентрація йонів феруму в ВТР при різних значеннях рН (вихідний розчин  $C_{Fe^{3+}} = 0,5$  моль/дм<sup>3</sup>):

1 – відповідно до розрахункових даних; 2 – відповідно до експериментальних даних ( $t = 20^\circ C$ ), 3 – відповідно до експериментальних даних ( $t = 75^\circ C$ )

#### 2.4. Вплив швидкості дозування реагенту

Розглянувши отримані експериментальні дані дослідження системи  $Fe_2(SO_4)_3 - NaOH - H_2O$ , при збільшенні швидкості дозування реагенту-осаджувача від 1 до 4 моль/моль·хв прослідковується незначне погіршення виходу бажаного продукту реакції у вигляді гідроксиду чи гідратованого оксиду феруму (III)

При більш низьких концентраціях (0,02 моль/дм<sup>3</sup>) збільшення швидкості дозування від 1 моль/моль·хв до 2 моль/моль·хв об'єм осаду зменшується від 1,1 до 1,6%, витрата реагенту зменшується на 1,2–2,8%. При збільшенні концентрації до 0,5 моль/дм<sup>3</sup> при збільшенні швидкості дозування в межах від 1 до 4 моль/моль·хв об'єм осаду збільшується на 4% в порівнянні із початковим. Таким чином в інтервалі концентрацій 0,02–0,5 моль/дм<sup>3</sup> рекомендується для даного типу систем дозування реагенту із швидкістю 1–4 моль/моль·хв.

#### 3. Вплив умов осадження на тип структури отриманого осаду

Розглянувши отримані експериментальні дані дослідження системи  $Fe_2(SO_4)_3 - NaOH - H_2O$ , прослідковується, що із збільшенням початкової концентрації металу у вихідному розчині від 0,02 моль/дм<sup>3</sup> до 0,5 моль/дм<sup>3</sup> зменшується відносний об'єм осаду, тип утвореного осаду – змішаний. Також відмічається, що при

збільшенні температури середовища до 75° С (для йону феруму III) відбувається значне зменшення кількості утвореного осаду та його структура, що пов'язано із хімічною дегідратацією за рахунок розкладу гідроксиду феруму (III) на оксид феруму(III). Рекомендований час відстоювання становить 8 годин.

#### 4. Апробація результатів дослідження

Дані отримані в результаті дослідження використовувалися зокрема для розробки технології переробки рідких ферумвмісних відходів травлення сталевих поверхонь [8], а також можуть використовуватися на підприємствах гальванічного металопокриття для оптимізації процесу нейтралізації стічних вод та травильних розчинів шляхом реагентного осадження із отриманням осаду заданого складу, для подальшої утилізації шляхом переробки.

Оскільки отриманий в ході досліджень осад метагідроксиду феруму є аналогом природних мінералів лимоніту і гетиту [9], тому може бути перероблений підприємствами чорної металургії тим же способом, що і згадані вище мінерали. Крім того, метагідроксид феруму безпосередньо застосовується як сировина для виготовлення жовтих мінеральних фарб та емалей, а також як каталізатор в органічному синтезі.

#### Висновки

Підсумувавши отримані експериментальні дані дослідження системи  $Fe_2(SO_4)_3 - NaOH - H_2O$ , визначили:

- для отримання осаду заданого складу оптимальним є осадження у формі метагідроксиду феруму  $FeOOH \cdot nH_2O$ , при цьому осадження необхідно проводити в діапазоні параметрів: рН = 7 - 7,5 при Ен = 160 - 180 мВ ( $r_{H_2} = 20,2 - 20,5$ );

- отриманий осад метагідроксиду феруму є хімічним аналогом природних мінералів лимоніту і гетиту, а тому придатний для подальшої переробки підприємствами чорної металургії

- для повноти осадження йонів феруму (III) відсутня необхідність значного надлишку реагенту-осаджувача вище стехіометричного відношення  $OH^- / Fe^{3+} = 3$ ;

- рекомендована швидкість перемішування в межах 180 об/хв, для забезпечення оптимальних кінетичних умов процесів розділення;

- із ростом виходу гідроксиду, відносно основного сульфату, зменшується початкова вологість осаду та покращується здатність до фізичного старіння, що може бути пов'язане із меншим хімічним

(лігандним) утриманням води та іншою більш впорядкованою структурою кристалічної решітки;

- збільшення температури в цілому веде до значного підвищення виходу гідроксиду феруму (III) дозволяючи збільшити вихід гідроксиду до максимального, що дозволяє отримати продукт заданого складу із заданими фізико-хімічними властивостями, придатного для утилізації шляхом переробки;

- рекомендований час відстоювання осаду феруму (III) при оптимальних параметрах осадження становить 8 годин.

1. Нестер А. А., Корчик Н. М., Баран Б. А. Стічні води підприємств та їх очищення : монографія. Хмельницьк : ХНУ, 2008. 171 с. 2. Вассерман И. М. Химическое осаждение из растворов. Л. : Химия, 1990. 208 с. 3. Plyatsuk L. and Melnik, A. Analysis of electroplating wastewater treatment in Ukraine. *Transactions of Sumy State University*. 2008. No. 2. Pp. 116–120. 4. Автоматизоване керування природо-охоронними системами очищення металовмісних стічних вод : монографія / Филипчук В. Л., Древецький В. В., Филипчук Л. В., Клепач М. І. Рівне : Овід, 2017. 288 с. 5. Запольський А. К. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод : підручник. К. : Вища школа, 2005. 671 с. 6. Яцков М. В., Корчик Н. М., Белікова С. В. Очищення стічних вод гальванічного виробництва та виробництва друкованих плат з поверненням води в технологічний цикл на операції промивання. *КАЗАНТИП-ЕКО2011. Інноваційні шляхи вирішення проблем базових галузей, екології, енерго- і ресурсозбереження* : зб. праць ІХ міжнародної науково-практичної конференції, 6–10 червня 2011 р., м. Щолкіне, АР Крим. Харків : УкрГНТЦ «Енергосталь», 2011. Т. 3. С. 48–56. 7. Федущак Н. К., Бідниченко Ю. Д., Крамаренко С. Ю. Аналітична хімія. Вінниця : Нова книга, 2012. 477 с. 8. Yatskov M., Korchyk N., Kyrylyuk S., Budenkova N., Prorok O. Development of technology for recycling the liquid iron-containing wastes of steel surface etching. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. No. 2/6 (86). Pp. 70–78. ISSN 1729-3774. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.97256. 9. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. Д. : Східний видавничий дім, 2004–2013.

## REFERENCES:

1. Nester A. A., Korchyk N. M., Baran B. A. Stichni vody pidpriemstv ta yikh ochyshchennia : monohrafiia. Khmelnytsk : KhNU, 2008. 171 s. 2. Vasserman I. M. Himicheskoe osajdenie iz rastvorov. L. : Himiya, 1990. 208 s. 3. Plyatsuk L. and Melnik, A. Analysis of electroplating wastewater treatment in Ukraine. *Transactions of Sumy State University*. 2008. No. 2. Pp. 116–120. 4. Avtomatyzovane keruvannia pryrodo-okhoronnymy systemamy

ochyshchennia metalovmisnykh stichnykh vod : monohrafiia / Fylypchuk V. L., Drevetskyi V. V., Fylypchuk L. V., Klepach M. I. Rivne : Ovid, 2017. 288 s. **5.** Zapolskyi A. K. Fyzyko-khimichni osnovy tekhnolohii ochyshchennia stichnykh vod : pidruchnyk. K. : Vyscha shkola, 2005. 671 s. **6.** Yatskov M. V., Korchyk N. M., Bielikova S. V. Ochyshchennia stichnykh vod halvanichnoho vyrobnytstva ta vyrobnytstva drukovanykh plat z povnenniam vody v tekhnolohichniy tsykl na operatsii promyvannia. *KAZANTYP-EKO2011. Innovatsiini shliakhy vyrishennia problem bazovykh haluzei, ekolohii, enerho- i resursozberezhennia* : zb. prats IKh mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, 6–10 chervnia 2011 r., m. Shcholkinе, AR Krym. Kharkiv : UkrHNTTs «Enerhostal», 2011. T. 3. S. 48–56. **7.** Fedushchak N. K., Bidnychenko Yu. D., Kramarenko S. Yu. Analychna khimiia. Vinnytsia : Nova knyha, 2012. 477 c. **8.** Yatskov M., Korchyk N., Kyrylyuk S., Budenkova N., Prorok O. Development of technology for recycling the liquid iron-containing wastes of steel surface etching. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. No. 2/6 (86). Pp. 70–78. ISSN 1729-3774. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.97256. **9.** Mala hirnycha entsyklopediia : u 3 t. / za red. V. S. Biletskoho. D. : Skhidnyi vydavnychy dim, 2004–2013.

---

**Yatskov M. V., Candidate of Engineering (Ph.D.), Senior Research Fellow, Professor, Korchyk N. M., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Prorok O. A., Applicant** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, poshta\_oleg\_vodnik@outlook.com)

### **RESEARCH OF THE CHEMICAL PARAMETERS SEDIMENTATION FOR THE HIGHLY CONCENTRATED FERRUMS CONTAINING LIQUID WASTE TO OBTAIN SEDIMENTS WITH THE SPECIFIED COMPOSITION AND PROPERTIES**

**In our researches were investigated the physical and chemical parameters of sedimentation on model solutions, which are analogs of liquid iron-containing waste with a concentration of ferrum(III) of 0.02–0.5 mol/dm<sup>3</sup>.**

**As a result of research, it was found that the optimal product with the given composition is ferrum metahydroxide, which is suitable for further processing and is easily to dehydrate. In order to obtain it, it is necessary to carry out sedimentation under the following parameters: pH carry up to 7–7.5 with Eh = 160 - 180 mV; the mixing speed should be near 180 rpm to ensure optimal kinetic conditions for the separation process; elevated temperature take up to 35° C, which**

**allows to significantly improve the chemical composition and physical properties of the sediment; the recommended sediment settling time is 8 hours.**

**The resulting precipitate of ferrum metahydroxide is a chemical analogue of the natural mineral's (limonite and goethite), and is therefore suitable for further utilization through processing by ferrous metallurgy enterprises or is directly used as a raw material for the production of paints, enamels and organic synthesis catalysts.**

***Keywords:* ferrum; obtaining sediments with specified composition and properties; highly concentrated metal-containing waste (HCMCW); concentrated wastewater (CWW); filtration, sediments, galvanic wastewater (GW), galvanic production (GP).**

---