

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

ВОДОВІДВЕДЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
для студентів, які навчаються за спеціальністю
192 «Будівництво та цивільна інженерія»,
спеціалізація «Водопостачання та водовідведення»

Київ 2024

УДК 628.1

В62

Укладачі: Д.М. Самченко, канд. техн. наук, ст. дослідник;

Г.М. Кочетов, д-р техн. наук, професор;

О.М. Нечипор, канд. техн. наук

Рецензент Т.В. Аргатенко, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск Д.М. Самченко, канд. техн. наук,
ст. дослідник

*Затверджено на засіданні кафедри водопостачання та
водовідведення, протокол № 2 від 19 вересня 2023 року.*

В авторській редакції.

Водовідведення промислових підприємств: методичні вказівки
В62 до виконання лабораторних робіт / уклад. : Д.М. Самченко,
Г.М. Кочетов, О.М. Нечипор. – Київ : КНУБА, 2024 – 28 с.

Розглянуто зміст і порядок виконання лабораторних робіт.
Показано основні процеси реагентних методів очистки стічних вод
промислових підприємств та визначення властивостей отриманих
осадів.

Призначено для магістрів спеціальності 192 «Будівництво та
цивільна інженерія», освітня програма «Водопостачання та
водовідведення».

Зміст

Загальні положення	4
Загальні правила роботи і техніка безпеки в лабораторії технології переробки промислових відходів	5
Лабораторна робота №1. Дослідження процесу реагентної очистки стічних вод гальванічних виробництв.....	7
Лабораторна робота №2. Визначення ефективності очистки гальванічних стічних вод методом феритизації з термічним способом активації реакційної суміші	13
Лабораторна робота №3. Вивчення процесу очистки гальванічних стічних вод феритизацією з електромагнітним імпульсним способом активації реакційної суміші.....	18
Лабораторна робота №4. Дослідження основних властивостей осадів, отриманих різними реагентними методами очистки стічних вод. Визначення ефективності ущільнення осадів	22
Список літератури	27

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Мета лабораторних робіт з дисципліни «Водовідведення промислових підприємств» – закріпити та поглибити знання, набуті студентами в процесі вивчення теоретичного курсу; навчити студентів навичкам виконання експериментальних досліджень, застосуванню лабораторного обладнання та вимірювальної техніки, обробці та оформленню результатів дослідження.

Лабораторні роботи дають змогу якнайкраще засвоїти навички в таких хімічних процесах, як очистка стічних вод різними реагентними методами та ущільнення отриманих осадів.

Інформаційною базою для виконання лабораторних робіт є матеріал лекцій, підручники, навчальні посібники та рекомендовані до самостійного вивчення літературні та різні державні та галузеві стандарти і правила, які регламентують якість води для виробничих цілей і вимоги до стічної води, що скидається у водойми чи повертається у виробництво.

Для виконання лабораторних робіт академічна група виконує роботу відповідно до завдання, що видає викладач.

Кожна лабораторна робота складається з трьох частин: теоретична підготовка; експериментальна частина; аналітична частина. Кожна частина включає одержання результатів експериментальних досліджень, їх обробку, формулювання висновків та захист роботи.

Закінчену роботу студенти оформлюють відповідно до вимог цих методичних вказівок і подають до захисту.

ЗАГАЛЬНІ ПРАВИЛА РОБОТИ І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ В ЛАБОРАТОРІЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ

1. Під час роботи необхідно точно дотримуватись порядку і послідовності операцій, вказаних у даній роботі.
2. Склянки з реактивами загального користування необхідно тримати на визначеному місці.
3. Працювати в лабораторії необхідно обережно, без зайвої квапливості, не проливати і не просипати реактиви. Надлишки реактивів забороняється зсипати назад у склянку з чистими реактивами.
4. Усі досліди необхідно виконувати в такій кількості та концентрації реактивів, в тому хімічному посуді та приладах, як це вказано у методичних вказівках. Забороняється виконувати додаткові досліди без дозволу викладача.
5. Забороняється зливати в раковину залишки лугів та рідин із сильним запахом; їх треба зливати в спеціальні склянки.
6. Категорично забороняється пробувати на смак або запах хімічні речовини, пити воду з хімічного посуду. Зі всіма речовинами в лабораторії варто поводитись як з більш-менш шкідливими.
7. Під час нагрівання рідин у пробірках не спрямовувати їх отвором на себе або в сторону студентів, які перебувають поряд; забороняється нахилитись над склянками або заглядати в пробірку зверху, щоб уникнути нещасного випадку в разі можливого викиду нагрітої речовини.
8. Прилади, які необхідно нагрівати або з яких будуть виділятися гази, не варто залишати закритими.
9. Упродовж всіх робіт, коли можливе розбризкування їдких речовин (переливання лугів або подрібнення, розтирання в ступках, сплавлення та ін.), необхідно одягати захисні окуляри.
10. У разі виникнення непорозумінь стосовно виконання дослідів лабораторної роботи необхідно припинити роботу та звернутися до викладача.
11. Після закінчення роботи необхідно ретельно вимити руки.
12. У разі нещасного випадку потрібно негайно звернутися до викладача!
13. Після закінчення роботи необхідно довести до ладу своє робоче місце.

ГАСІННЯ МІСЦЕВОЇ ПОЖЕЖІ ТА ПАЛАЮЧОГО ОДЯГУ

У разі виникнення пожежі необхідно негайно вимкнути всі електроприлади, за можливості забрати всі вогнебезпечні та вибухонебезпечні речовини, після чого місце пожежі засипати піском, накрити вовняною (азбестовою) ковдрою або загасити вогнище пожежі вогнегасником.

У разі загоряння одягу необхідно негайно накрити одяг вовняною ковдрою і щільно притиснути, щоб перекрити доступ повітря до одягу, який горить, або залити його водою. Ні в якому разі не бігати в палаючому одязі, бо це спричинить тільки роздування полум'я.

ДОПОМОГА ПРИ ОПІКАХ

У разі термічного опіку (нагрітими предметами) уражене місце необхідно протерти ватою, намоченою етиловим спиртом, розчином перманганату калію або рідиною від опіків (із аптечки). У разі сильного опіку треба накласти стерильну пов'язку або накрити обпечене місце чистою тканиною і обов'язково звернутись до лікаря.

Варто пам'ятати, що концентровані луги тощо можуть завдати дуже тяжких хімічних опіків.

При опіках шкіри їдкими лугами треба добре промити уражене місце водою (до зникнення відчуття слизькості), а потім 3–5-відсотковим розчином оцтової (або борної) кислоти. У разі потрапляння лугу в очі треба їх промивати під струменем води упродовж 15 хвилин та негайно звернутися до лікаря.

Лабораторна робота №1

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РЕАГЕНТНОЇ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД ГАЛЬВАНІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

Мета роботи – засвоєння хімічних процесів реагентної очистки гальванічних стічних вод, які містять сполуки важких металів.

Завдання роботи – визначення ступеня вилучення іонів заліза під час застосування реагентної очистки стічних вод.

Теоретична частина

Гальванічне виробництво є одним з найбільших споживачів води, а його стічні води – одними із найбільш токсичних і шкідливих. Сучасне гальванічне виробництво відрізняється споживанням значної кількості реагентів і матеріалів, насиченістю застосування різних видів енергії (постійний і змінний струм, пара, гаряча вода, стиснене повітря), а також великою кількістю стічних вод різного складу. Основними складовими гальванічних стічних вод є неорганічні сполуки високої токсичності, обумовленої вмістом важких металів, таких як хром, залізо, цинк, нікель, мідь, кадмій тощо. Потрапляння токсичних стічних вод, як розбавлених (промивних), так і концентрованих (відпрацьованих електролітів, розчинів обробки друкованих плат, елюатів іонообмінних фільтрів), у водойми без належного ступеня очистки призводить до порушень ходу природних біологічних процесів, знижує якість природних вод, впливає на санітарні умови життя і здоров'я людей.

Для оцінки екологічної небезпеки стічних вод використовується поняття «екологічний критерій» (EK), який визначається як відношення кінцевої концентрації компонента розчину в скиданій (очищеній) воді ($C_{кон}$) до його ГДК у воді рибогосподарських водойм:

$$EK = C_{кон.} / ГДК_{риб.госп.} \quad (1)$$

Для визначення необхідного ступеня очистки стічних вод на очисних спорудах застосовують формулу:

$$C = C_{вих.} - C_{зал.} / C_{вих.} \cdot 100\% \quad (2)$$

де $C_{вих.}$, $C_{зал.}$ – початкова та залишкова концентрація забруднюючих речовин у стічній воді, мг/дм³.

Чим більшою є величина екологічного критерію, тим більшу екологічну небезпеку становлять стічні води.

Очистка стічних вод на більшості вітчизняних гальванічних виробництв здійснюється традиційними реагентними методами. Технології очистки води реагентними методами включають процеси окислення, відновлення, нейтралізації, коагуляції і осадження. Сутність цього методу полягає у зв'язуванні іонів, що підлягають вилученню, у нерозчинні, малорозчинні, слабозрозчинні і слабодисоційовані сполуки. Під час вибору реагентів необхідно враховувати значення розчинності утворення сполук. Величина рН, яка відповідає початку осадження гідроксидів різних металів, залежить від природи металу та ряду фізико-хімічних параметрів: температури, наявності домішок тощо.

Як правило, стічні води гальванічних виробництв мають кислу реакцію, тому переведення важких металів у тверду фазу в основному здійснюють введенням лужних реагентів з утворенням нерозчинних у воді гідроксидів, гідроксокарбонатів, карбонатів. Застосування гідроксидів і карбонатів кальцію і натрію дозволяє в більшості випадків знизити вміст іонів важких металів до величин, що дозволяють здійснювати скидання очищеної води в системи каналізації населених пунктів.

На рис. 1 наведено інтервал значень рН, які забезпечують мінімальну розчинність, що впливає на осадження гідроксидів важких металів.

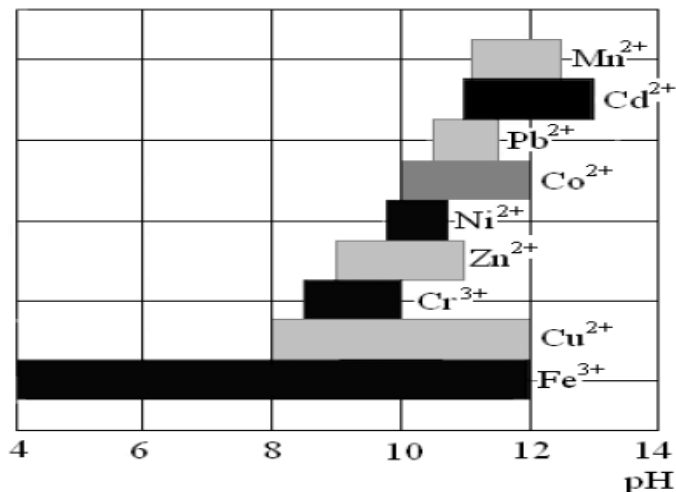
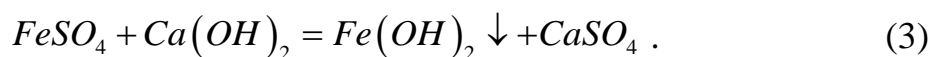


Рис.1. Діаграма значень рН, що забезпечують мінімальну розчинність гідроксидів металів у воді

Для нейтралізації кислих стічних вод і осадження іонів важких металів у якості лужних реагентів використовують гідроксид і карбонат натрію, більш дешевий гідроксид кальцію (вапно, вапняне молоко), а

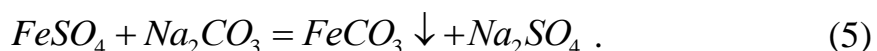
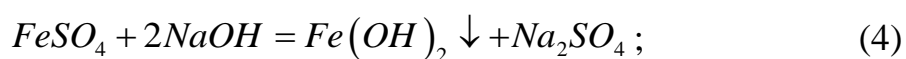
також можуть використовуватися деякі виробничі відходи, наприклад, карбідний шлак, ферохромовий шлак.

У процесі нейтралізації стічних вод гідроксидом кальцію сполуки важких металів випадають у осад у вигляді гідроксидів, а кальцій зв'язується в малорозчинний сульфат:



До недоліків використання гідроксиду кальцію варто віднести низьку швидкість реакції, обмежену дисоціацією $Ca(OH)_2$; неповноту осадження $CaSO_4$ внаслідок досить високої розчинності (до 2 мг/дм³), що збільшує жорсткість води; отримання змішаних шлаків, із яких регенерація важких металів ускладнена, а частіше і взагалі неможлива.

Карбонатом натрію зручно обробляти стічні води, які містять іони важких металів, схильних до утворення гідроксокарбонатів. Гідроксид і карбонат натрію досить дефіцитні та дорогі, тому їх застосування повинне бути економічно виправдане.



Найбільш глибокого рівня очистки можна досягнути у разі послідовного використання двох і більше осаджувачів під час їх комбінованого осадження та співосадження.

Експериментальна частина

Прилади, обладнання та матеріали: спектрофотометр; рН – метр; ваги технічні; аналітичні ваги; скляний стакан на 250 мл; колби конічні на 250 мл; фільтри паперові; мірний циліндр на 100 мл; піпетка; центрофужна пробірка; скляна лабораторна лійка; дистильована вода; залізо сірчаноокисле 7-водне марки «хч»; 25-відсотковий розчин гідроксиду натрію.

Порядок виконання роботи

Підготовлення модельної стічної води: в мірний циліндр на 100 мл наливається 50 мл дистильованої води і зливається в колбу на 250 мл. Після цього в колбу з дистильованою водою засипають 7,460 г порошку заліза сірчаноокислого 7-водного марки «хч», концентрація заліза якого в

наважці дорівнює 1,5 г. Розраховану вагу порошку заліза сірчаноокислого 7-водного зважують на технічних вагах, використовуючи паперовий фільтр. Далі проводиться повне розчинення порошку в закритій колбі шляхом кругового перемішування. Отриманий розчин після перемішування повторно зливається в мірний циліндр і доводиться до відмітки в 100 мл дистильованою водою. Таким чином, підготовлений розчин має вихідну концентрацію в 15 г/дм^3 та відповідає за складом і концентраціями іонів заліза відпрацьованому технологічному сірчаноокислому розчину травленню сталевих деталей на гальванічному виробництві після його розбавлення перед етапом його очищення на локальних очисних спорудах.

Підготовка розчину гідроксиду натрію: для підготовки 25-відсоткового розчину гідроксиду натрію потрібно на технічних вагах зважити 25 г NaOH і засипати його вміст в мірну колбу з дистильованою водою. Перемішування розчину потрібно проводити з обережністю з періодичним охолодженням колби у холодній воді. Після розчинення гідроксиду натрію її об'єм зливається в мірний циліндр, доводячи його до відмітки в 100 мл дистильованою водою.

Процес реагентної очистки модельних стічних вод: з мірного циліндра зливається 100 мл модельного розчину в стакан на 250 мл. Після цього в стакан зі стічною водою встановлюється електрод, який вимірює водневий показник рН, і магніт для перемішування суспензії. Далі в стічну воду додається невеликими порціями 25-відсотковий розчин гідроксиду натрію під час інтенсивного перемішування магнітною мішалкою і постійного контролювання значення рН на моніторі приладу. Коли буде досягнуто рН 10,5, подачу NaOH припиняють і зливають його вміст назад в циліндр до відмітки в 100 мл та залишають на добу для ущільнення осаду.

Підготовка проб для аналізу: після відстоювання (розділу фаз) проводиться аналіз на вміст залишкової концентрації іонів заліза в освітленому розчині спектрофотометричним методом. Результати аналізу вмісту іонів заліза в очищеному розчині вносяться до табл. 1. Але перед відбором проб необхідно визначити значення питомого об'єму гравітаційного ущільнення осаду, дані яких вносяться до табл. 2. Після визначення питомого об'єму суспензії з циліндра зливається у колбу на 250 мл та ретельно збовтується. Далі для визначення ефективності зневоднення осадів на центрифугі потрібно перемішану суспензію наповнити в попередньо зважену на технічних вагах центрофужну

пробірку на 10 мл і залишити її до виконання лабораторної роботи №4. Після 25 хв відстоювання з колби піпеткою відбирають 50 мл освітленого розчину, не збовтуючи осад, для аналізу рН очищеного розчину та вмісту іонів заліза на спектрофотометрі DR3900 (Hach, США).

Таблиця 1

Результати аналізу очистки стічних вод різними реагентними методами

№ п/п	Найменування методу очистки стічних вод	рН реакційної суміші	рН очищеної води	Концентрація іонів заліза, мг/дм ³		Ступінь очистки, %
				До очистки	Після очистки	
1	Нейтралізація розчином гідроксидом натрію					
2	Феритизація з термічним способом активації					
3	Феритизація з електромагнітним імпульсним способом активації					

Таблиця 2

Результати питомих об'ємів ущільнених осадів

№ п/пр.	Найменування методу очистки стічних вод	Питомий об'єм осадів, %	
		Гравітаційне ущільнення	Відцентрове ущільнення центрифугуванням
1	Нейтралізація розчином гідроксидом натрію		
2	Феритизація з термічним способом активації		
3	Феритизація з електромагнітним імпульсним способом активації		

Методика проведення визначення залишкових концентрацій іонів заліза в очищеному розчині така:

- вибрати програму №265 «Залізо загальне»;
- наповнити кювету до відмітки 10 мл;

- додати в кювету зі зразком вміст одного пакетика FerroVer;
- перемішати круговими обертами до часткового або повного розчинення порошку;
- запустити таймер на 3 хвилини;
- заповнити другу кювету тим самим зразком до відмітки 10 мл (нульовий зразок);
- протерти кювету з нульовим зразком;
- після закінчення таймеру помістити кювету з нульовим зразком в кюветотримач, потім натиснути «Нуль». На екрані повинно відобразитися значення 0,00 мг/дм³;
- після цього протерти кювету з порошком, помістити в кюветотримач та натиснути «Вимірювання». Відобразиться загальний вміст заліза в зразку.

Примітка. За цією методикою можна вимірювати вміст іонів заліза від 0,02 до 3 мг/дм³.

Протоколи лабораторних робіт №1, 2 та 3 оформлюються як один, в якому на основі отриманих даних табл. 1 пишеться висновок про ефективність очистки стічних вод різними реагентними методами.

Контрольні запитання

1. Назвіть найбільш поширені методи очистки стічних вод від сполук важких металів на гальванічному виробництві.
2. Які гранично допустимі концентрації іонів заліза в питній воді, воді рибогосподарського використання для скиду стічної води в центральну міську каналізаційну мережу м. Києва та води для повторного використання на гальванічному виробництві в промивних операціях та підготовлення електrolітів?
3. Який вплив має на живі організми потрапляння у водні об'єкти неочищених або недостатньо очищених стічних вод, що містять сполуки важких металів?
4. У чому полягає механізм реагентного методу очистки стічних вод? Перелічити його переваги і недоліки.
5. Які хімічні реагенти застосовуються у традиційній реагентній очистці стічних вод? Назвати їхні переваги та недоліки.

Лабораторна робота №2
ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИСТКИ ГАЛЬВАНІЧНИХ
СТІЧНИХ ВОД МЕТОДОМ ФЕРИТИЗАЦІЇ З ТЕРМІЧНИМ
СПОСОБОМ АКТИВАЦІЇ РЕАКЦІЙНОЇ СУМІШІ

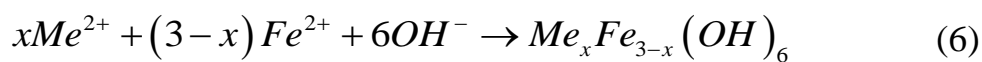
Мета роботи – вивчити процес феритизаційного методу очистки стічних вод, які містять сполуки важких металів з термічним способом активації реакційної суміші.

Завдання роботи – визначити ефективність вилучення іонів заліза під час очистки стічних вод термічною феритизацією з використанням раціональних технологічних параметрів процесу.

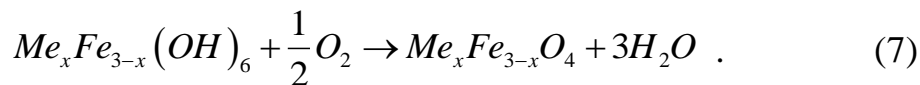
Теоретична частина

Суть традиційного феритизаційного методу в сумісному співосажденні іонів Fe з іншими важкими металами – ($Ni, Co, Zn, Cu, Mn, Cd, Pb, Cr$) в певному співвідношенні, додаванні луку і продувці киснем повітря за температури вище $75\text{ }^{\circ}C$. Феритизаційні процеси мають кілька технологічних напрямів і можуть здійснюватися як реагентно-хімічними методами, так і на основі електро- і гальванокоагуляційної і низці інших технологій. Реагентно-хімічна технологія заснована на введенні водорозчинних солей заліза (II), а методи електро- і гальванокоагуляції включають первинне анодне розчинення заліза $Fe^0 + 2e \rightarrow Fe^{2+}$ під час накладення зовнішнього електричного струму, або за протікання процесів внутрішнього електролізу під час контактування гальванопари та їх подальшому частковому окисленні до балансового співвідношення у водному середовищі $Fe^{3+} : Fe^{2+} = 2 : 1$. У процесах очистки феритизаційний метод характеризується можливістю отримання поліпшених феромагнітних, седиментаційних і фільтраційних характеристик осадів, що утворюються, і їх утилізації.

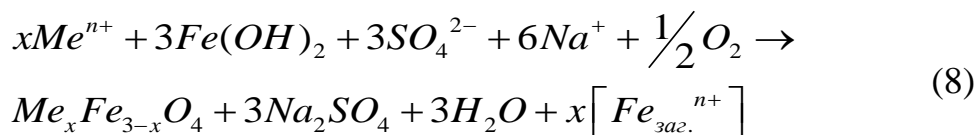
Загальними для всіх зазначених напрямів феритизації, які зазвичай протікають в лужному середовищі за підвищеної температури в присутності дво- і тривалентних іонів важких Me – металів у оброблюваній воді, є такі реакції:



Потім гідроксидна форма осадів окислюється киснем повітря, утворюючи, головним чином, шпінельну оксидну кристалічну структуру чорного або коричневого кольору з магнітними властивостями:



Феритизація іонів важких металів відбувається в присутності сульфат-іонів за реакцією:



Основними факторами, що приводять до феритизаційної трансформації $Fe(OH)_2$ і $Fe(OH)_3$ в Fe_3O_4 , є значення рН, температура, тривалість процесу, а також вихідні концентрації іонів важких металів та співвідношення цих концентрацій.

Поєднання цих технологічних факторів зумовлює утворення різних форм гідроксидних і оксидних сполук заліза, які наведені на рис. 2.

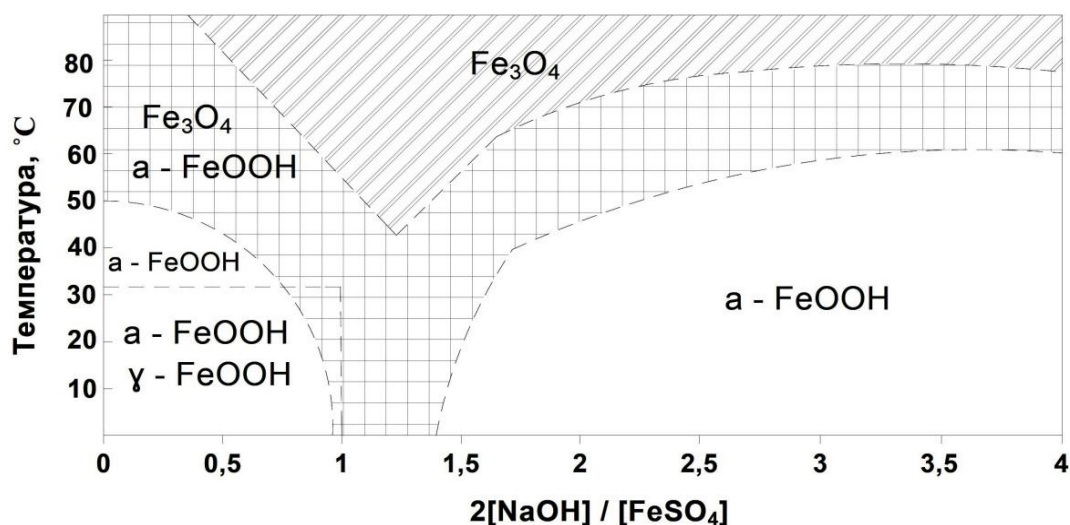


Рис. 2. Діаграма розподілу фаз сполук заліза в процесі феритизації

Очистка стічних вод феритизаційним методом здійснюється залежно від складу стічних вод, концентрації та продуктивності виробничої лінії. Найлегше здійснити періодичний процес. В цьому випадку реактор періодичної дії необхідно обладнати пристроями для нагріву та системи аерації реакційної суміші. Нагрів можна здійснити за допомогою електроенергії, пари, гарячого повітря або газу. Пристрій для аерації може бути виконаний у вигляді звичайних трубопроводів, оснащених отворами

для рівномірного розподілення повітря в реакторі. За високої продуктивності виробничої лінії може бути застосований і безперервний процес за допомогою каскаду реакторів. У стічну воду разом з реагентами можна додавати порошок магнетиту, який є первинним центром кристалізації феритів. В цьому випадку вартість очистки буде приблизно на 20 % нижча за реагентне осадження гідроксидом натрію.

Апаратне оформлення феритизаційної очистки відрізняється простотою, в основі його лежить принцип магнітного осадження забруднень. Головним робочим вузлом установки є реактор-нейтралізатор кисло-лужних стоків, який містить мішалку і магнітні клапани для спуску обробленої води.

Головними перевагами феритизаційної очистки гальванічних стічних вод є: можливість одночасного вилучення різних іонів важких металів в одну стадію; поряд з розчиненими важкими металами ефективно видалення диспергованих суспензій і емульгованих забруднень; процес не чутливий до впливу інших солей, які можуть бути присутніми у стоках у великих концентраціях; простота сепарації; можливість повної автоматизації технологічного процесу; корисна утилізація феритизованих осадів.

Проте у традиційного феритизаційного методу є й недоліки: необхідність високотемпературної активації реакційної суміші. Зокрема, більшість процесів феритизації є високотемпературними і енергоємними, що протікають за нагрівання стічних вод, починаючи з 75 °С і вище. Крім того, феритизації вимагає використання великої кількості солей заліза, в процесі разом з осадом втрачаються важкі метали, які можуть слугувати цінною сировиною для кольорової металургії.

Експериментальна частина

Прилади, обладнання та матеріали: спектрофотометр; рН – метр; ваги технічні; скляний стакан на 250 мл; колби конічні на 250 мл; фільтри паперові; мірний циліндр на 100 мл; піпетка; скляна лабораторна лійка; дисковий лабораторний аератор; повітряний компресор; термометр на 100 °С; електрична плита; дистильована вода; залізо сірчаноокисле 7-водне марки «хч»; 25-відсотковий розчин гідроксиду натрію.

Лабораторна установка, на якій проводяться експериментальні дослідження, наведена на рис. 3.

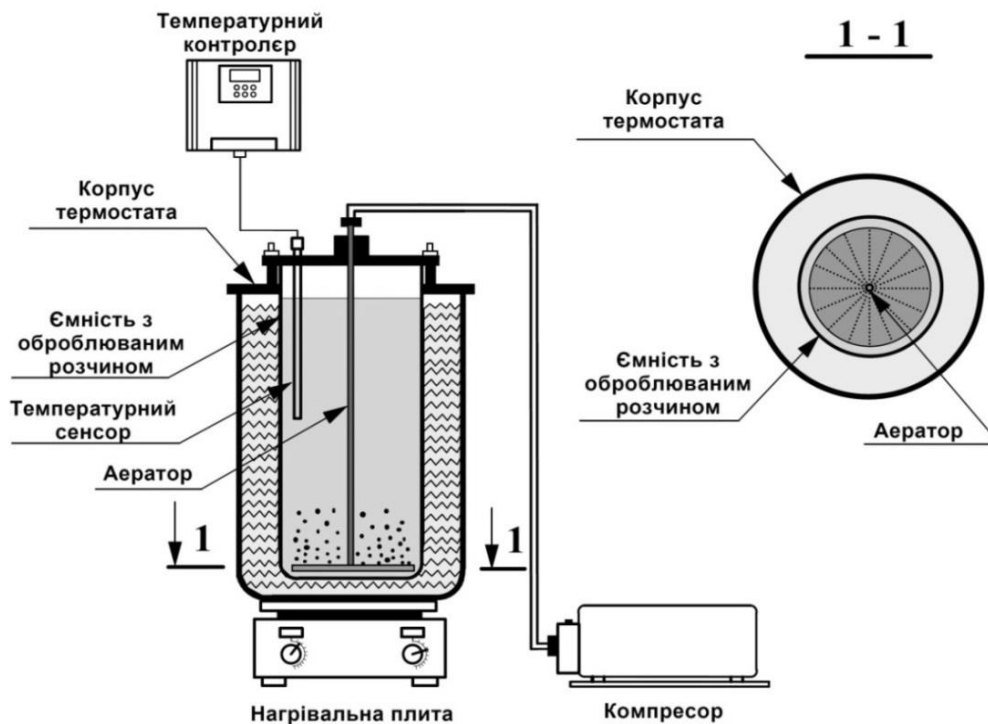


Рис. 3. Лабораторна установка очистки гальванічних стічних вод феритизацією з термічною активацією процесу

Порядок виконання роботи

Підготовка модельної стічної води: процес підготовки модельної стічної води ідентичний з методикою, яка наведена в лабораторній роботі №1. У мірний циліндр на 100 мл наливається 50 мл дистильованої води і зливається в колбу на 250 мл. Після цього в колбу з дистильованою водою засипають 7,460 г порошку заліза сірчаноокислого 7-водного марки «хч», концентрація заліза якого в наважці дорівнює 1,5 г. Розраховану вагу порошку заліза сірчаноокислого 7-водного зважують на технічних вагах, використовуючи задля цього паперовий фільтр. Далі проводиться повне розчинення порошку в закритій колбі шляхом кругового перемішування. Отриманий розчин після перемішування повторно зливається в мірний циліндр і доводиться до відмітки в 100 мл дистильованою водою. Таким чином, підготовлений розчин має вихідну концентрацію в $1,5 \text{ г/дм}^3$.

Процес феритизаційної очистки стічних вод з термічним способом активації процесу: з мірного циліндра зливається 100 мл модельного розчину в стакан на 250 мл. Після цього в стакан зі стічною водою встановлюється електрод, який вимірює водневий показник рН, і магніт для перемішування суспензії. Далі в стічну воду додається невеликими

порціями 25-відсотковий розчин гідроксиду натрію під час інтенсивного перемішування магнітною мішалкою і постійного контролю значення рН на моніторі приладу. Коли рН досягне позначки 10,5, подачу NaOH припиняють. Отримана реакційна суміш із стакану зливається в ферит-реактор та встановлюється в корпус термостата. Після цього здійснюється процес нагріву водопроводної води до температури 75 °С, застосовуючи нагрівальну лабораторну плитку. Контроль за температурою здійснювали за допомогою термометра. Коли температура в ферит-реакторі досягла необхідного значення в 75 °С, за допомогою компресора з системою розподілу подається стиснене повітря і здійснюється його барботаж упродовж 30 хвилин. Після відстоювання (розділу фаз) на освітленому розчині проводиться аналіз на вміст залишкової концентрації іонів заліза спектрофотометричним методом. Результати аналізу вмісту іонів заліза в очищеному розчині та значення питомого об'єму гравітаційного ущільнення осаду вносяться до табл. 1 та 2, відповідно. Для цього після визначення питомого об'єму вміст циліндра з суспензією зливається у колбу на 250 мл та ретельно збовтується. Для визначення ефективності зневоднення осадів на центрифугі потрібно перемішану суспензію наповнити в попередньо зважену на технічних вагах центрофужну пробірку на 10 мл і залишити її до виконання лабораторної роботи №4. Після 25 хв відстоювання з колби піпеткою відбирають 50 мл освітленого розчину, не збовтуючи осад, для аналізу рН очищеного розчину та вмісту іонів заліза на спектрофотометрі. Методика проведення визначення залишкових концентрацій іонів заліза в очищеному розчині описана в лабораторній роботі №1.

Контрольні запитання

1. У чому полягає сутність методу феритизації?
2. Які хімічні реакції протікають в процесі феритизації?
3. Які є основні технологічні параметри, що впливають на здійснення процесу феритизації?
4. Назвіть технологічні напрями феритизаційних процесів.
5. Назвіть переваги та недоліки застосування феритизаційного процесу на практиці.

Лабораторна робота №3
ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИСТКИ ГАЛЬВАНІЧНИХ СТІЧНИХ
ВОД ФЕРИТИЗАЦІЄЮ З ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ІМПУЛЬСНИМ
СПОСОБОМ АКТИВАЦІЇ РЕАКЦІЙНОЇ СУМІШІ

Мета роботи – вивчити можливості застосування та практичної реалізації феритизаційного методу очистки стічних вод, які містять сполуки важких металів, з електромагнітним імпульсним способом активації реакційної суміші.

Завдання роботи – порівняти ефективність вилучення іонів заліза під час очистки стічних вод традиційною і енергоощадною феритизацією за найкращих технологічних параметрів процесу.

Теоретична частина

Очистка стічних вод традиційним методом феритизацією, як правило, здійснюється за температури вище 75 °С та додатково потребує використання значної кількості сполук заліза. Отже, термічний спосіб активації процесу є доволі енергоємним та ресурсозатратним. Альтернативою термічній може слугувати активація реакційної суміші електромагнітними імпульсними розрядами. Застосування електромагнітних імпульсних розрядів дозволяє значно інтенсифікувати процес очистки, скоротити тривалість технологічного циклу та енерговитрат, відмовитися від будівництва об'ємних споруд. В дослідженнях застосовувались електричні розряди низької потужності. Недоліком їхнього застосування є необхідність додаткової очистки і мала продуктивність, пов'язана з низькою витратою або рециркуляцією розчину в цілях магнітно-імпульсної обробки для підвищення її ефективності. Більш ефективні імпульсні розряди середньої потужності, що генерують сильні електромагнітні поля, однак значно ускладнюється технологічна схема і зростають енерговитрати.

Застосування електромагнітно-імпульсної активації реакційної суміші в процесі феритизації дозволить суттєво скоротити використання енергоресурсів порівняно із традиційною термічною активацією приблизно на 40 %. Особливістю запропонованої нової технології є можливість проведення процесу активації за кімнатної температури під час тривалого терміну експлуатації обладнання, яке генерує електромагнітні імпульсні розряди.

Одним із значних недоліків феритизаційного процесу є використання великої кількості солей заліза. Основним реагентом феритизаційної переробки стічних вод слугує гідрат сульфату ІІ заліза ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$), що є відходом виробництва двоокису титану або травлення сталі. Тому використання відпрацьованого травильного розчину в процесі феритизації дозволяє: по-перше, вирішити питання недешевої утилізації цих токсичних розчинів, а по-друге, відмовитися від застосування дороговартісного чистого реагенту сульфату заліза в процесі очистки.

Упровадження таких нових зазначених вище рішень для проведення феритизації дозволить значно підвищити ресурсоощадність процесу очистки гальванічних відходів. Ось чому подальше удосконалення феритизаційного методу, яке спрямоване на мінімізацію енергетичних та реагентних ресурсів, може розглядатися як шлях до вирішення проблеми енерго- та ресурсозбереження на гальванічному виробництві. Тому на часі всебічне дослідження економічно ефективної переробки гальванічних відходів, в тому числі і шламів, що забезпечує необхідний ефект очистки води від іонів важких металів та безпечну утилізацію шламів.

Експериментальна частина

Прилади, обладнання та матеріали: спектрофотометр; рН – метр; ваги технічні; скляний стакан на 250 мл; колби конічні на 250 мл; фільтри паперові; мірний циліндр на 100 мл; піпетка; скляна лабораторна лійка; дисковий лабораторний аератор; повітряний компресор; електромагнітний імпульсний реактор; електронний блок-корпус; джерело живлення; дистильована вода; залізо сірчаноокисле 7-водне марки «хч»; 25-відсотковий розчин гідроксиду натрію.

Лабораторна установка, на якій проводяться експериментальні дослідження, наведена на рис. 4. Особливістю цієї установки є можливість за допомогою комп'ютерної програми змінювати режимні параметри генерації електромагнітних імпульсних розрядів, а саме: амплітуду магнітної індукції, частоту та тривалість імпульсів.

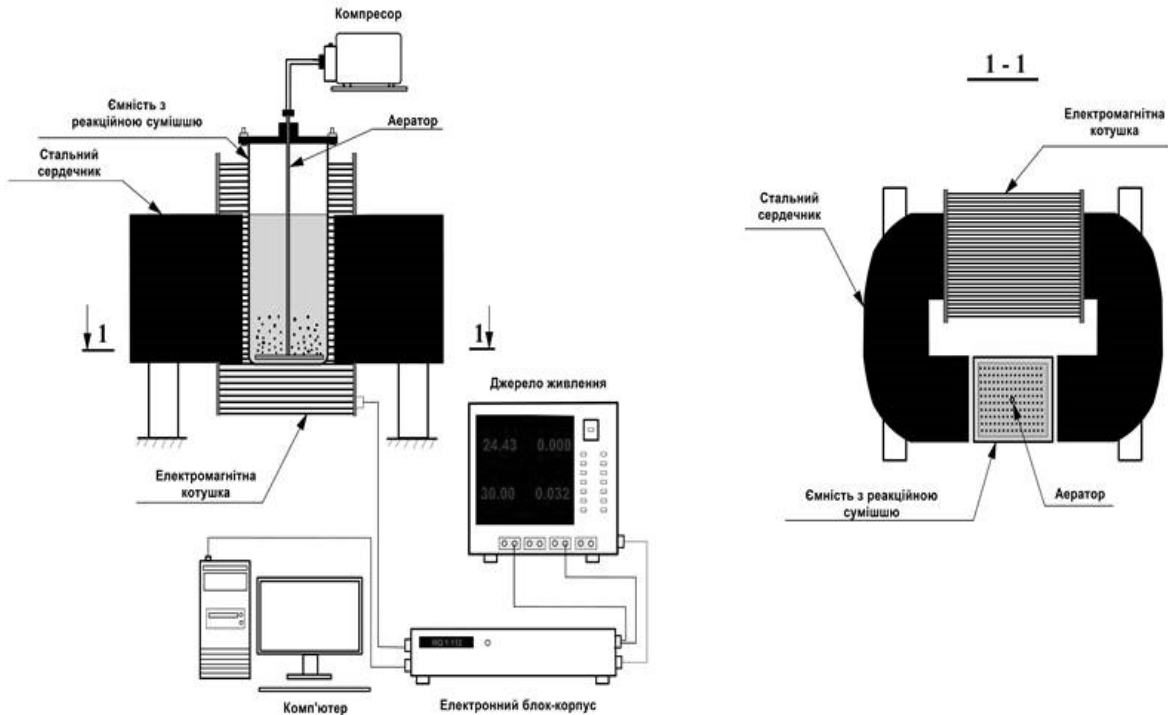


Рис. 4. Лабораторна установка енергоощадної очистки гальванічних стічних вод з електромагнітною імпульсною активацією процесу феритизації

Порядок виконання роботи

Підготовлення модельної стічної води: процес підготовлення модельної стічної води ідентичний з методикою, яка наведена в лабораторній роботі №1 та №2.

Процес феритизаційної очистки стічних вод з термічним способом активації процесу: з мірного циліндра зливається 100 мл модельного розчину в стакан на 250 мл. Після цього в стакан зі стічною водою встановлюється електрод, який вимірює водневий показник рН, і магніт для перемішування суспензії. Далі в стічну воду додається невеликими порціями 25-відсотковий розчин гідроксиду натрію за інтенсивного перемішування магнітною мішалкою і постійного контролю за значенням рН на моніторі приладу. Після досягнення рН = 10,5 подачу NaOH припиняють. Отримана реакційна суміш із стакану зливається в реактор та встановлюється в електромагнітний імпульсний корпус. Після цього на реакційну суміш діють електромагнітними імпульсними розрядами з одночасною безперервною аерацією до 30 хвилин. Процес феритизації здійснювався за кімнатної температури, в межах $18 \pm 2^\circ\text{C}$. Подача імпульсної напруги здійснювалась через електромагнітні котушки зі

стальним сердечником, які прикріплені до корпусу електромагнітної імпульсної установки та під'єднані до джерела напруги та електронного блок-корпусу. Електронний блок-корпус з'єднувався з комп'ютером. Процес контролю режимними характеристиками роботи електромагнітного імпульсного обладнання здійснювався за допомогою розробленої комп'ютерної програми. Після закінчення процесу активації і окислення розчин спрямовували на процес відстоювання (розділу фаз). Після відстоювання (розділу фаз) на освітленому розчині проводиться аналіз на вміст залишкової концентрації іонів заліза спектрофотометричним методом. Результати аналізу вмісту іонів заліза в очищеному розчині та значення питомого об'єму гравітаційного ущільнення осаду вносяться до табл. 1 та 2, відповідно. Для цього після визначення питомого об'єму вміст циліндра з суспензією зливається у колбу на 250 мл та ретельно збовтується. Для визначення ефективності зневоднення осадів на центрифугі потрібно перемішану суспензію наповнити в попередньо зважену на технічних вагах центрифужну пробірку на 10 мл і залишити її до виконання лабораторної роботи №4. Після 25 хв відстоювання з колби піпеткою відбирають 50 мл освітленого розчину, не збовтуючи осад, для аналізу рН очищеного розчину та вмісту іонів заліза на спектрофотометрі. Методика проведення визначення залишкових концентрацій іонів заліза в очищеному розчині описана в лабораторній роботі №1.

Контрольні запитання

1. Назвати переваги застосування електромагнітних імпульсних розрядів над традиційною термічною активацією феритизації.
2. Які режимні параметри можна змінювати в електромагнітній імпульсній установці?
3. Чим можна пришвидшити інтенсифікацію реакції феритизації в процесі очистки стічних вод?
4. На ваш погляд, чим можливо замінити реагент заліза з метою здешевлення процесу феритизації?
5. На скільки відсотків можна скоротити використання електроенергії в процесі феритизації під час застосування електромагнітно-імпульсної активації реакційної суміші порівнянно із традиційною, термічною?

Лабораторна робота №4
ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОСАДІВ,
ОТРИМАНИХ РІЗНИМИ РЕАГЕНТНИМИ МЕТОДАМИ ОЧИСТКИ
СТІЧНИХ ВОД. ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УЩІЛЬНЕННЯ
ОСАДІВ

Мета роботи – дослідити основні властивості осадів очистки стічних вод реагентними методами; вивчити процес відцентрового ущільнення осадів на центрифугі.

Завдання роботи – визначити об'єм, густину, вологість осадів та порівняти ефективність ущільнення осадів гравітаційним та відцентровим методами.

Теоретична частина

Осад, що утворюється в процесі очистки стічних вод гальванічних виробництв, характеризується різним складом і властивостями, які в свою чергу залежать від конкретних умов утворення стічних вод, методу їх очистки, умов експлуатації очисних споруд тощо. Обробку осадів промислових стічних вод необхідно проводити з метою максимального зменшення їхніх об'ємів і підготовки до подальшого розміщення, використання або утилізації задля забезпечення сталого стану навколишнього середовища або відновлення сприятливого стану.

Однією з важливих характеристик реагентних осадів є їхня густина. Тому в дослідженнях основну увагу потрібно приділяти визначенню питомого об'єму та вологості ущільненого осаду. Об'єм ущільненого осаду залежить від того, які сполуки входять до його складу: оксиди, оксогідроксиди або гідроксиди важких металів. Оскільки магнітні властивості визначаються здебільшого найщільнішими оксидними та феритними сполуками у важких металів, тому осад з максимальною магнітною сприйнятливістю повинен мати мінімальний об'єм.

Відомо, що в результаті очистки стічних вод, які містять сполуки важких металів, традиційним реагентним методом утворюються здебільшого гідроксидні осади. Під час зберігання таких осадів на відкритій поверхні під впливом атмосферних опадів іони металів, через легке розчинення гідроксидів, вилугуюються з місць їхнього накопичення у ґрунт та водні об'єкти. Отже, неналежне зберігання таких осадів завдає невіправного збитку усій екосистемі. На відміну від гідроксидних осадів,

кристалічна структура феритних осадів, які утворюються під час феритизації, є хімічно стабілізаційною, в результаті чого утворюються нешкідливі або малотоксичні сполуки важких металів IV класу небезпеки. Феритні осади швидко седиментуються в процесі очистки, а їхній об'єм та вологість значно нижчі, ніж у осадах, які отримуються за традиційного реагентного очищення стічних вод.

Фазовий механізм трансформації кристалічних осадів в процесі феритоутворення дуже складний і залежить від багатьох технологічних параметрів. Як приклад очистки стічних вод, які містять сполуки заліза – на початку процесу під час додавання лугу утворюються гідроксидні сполуки заліза, після цього відбувається процес його трансформації в оксогідроксидні сполуки різних модифікацій, а саме: фероксигіту $\delta\text{-FeOOH}$, лепідокрокіту $\gamma\text{-FeOOH}$ і гетиту $\alpha\text{-FeOOH}$. Під час подальшого проходження процесу феритизації оксогідроксидні сполуки переходять у хімічно стабільні оксидні форми маггеміта $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, гематиту $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ і магнетиту Fe_3O_4 .

Ущільнення осадів промислових стічних вод є первинною стадією їхньої обробки та призначене для зменшення їхнього об'єму. Найбільш поширені гравітаційний і флотаційний методи ущільнення. Гравітаційне ущільнення здійснюють у відстійниках-ущільнювачах; флотацію – в установках напірної флотації. Одним з найбільш ефективних способів розділення рідких неоднорідних систем на промислових підприємствах є відцентрове ущільнення в циклонах і центрифугах. Під центрифугуванням розуміють процес розділення суспензій і емульсій в полі відцентрових сил з використанням суцільних або проникних для рідини перегородок. Фактор розділення є одним з основних параметрів, що визначає умови осадження частинок під дією відцентрової сили. Чим вище фактор розділення, тим інтенсивніше протікає процес центрифугування.

Фактор розділення визначають за формулою:

$$\Phi_p = \frac{\omega^2 \cdot R}{g} \cong \frac{n^2 \cdot R}{900}, \quad (9)$$

де $\omega = \pi n/30$ – кутова швидкість барабану, м/с; R – радіус ротора, м; g – прискорення вільного падіння, м/с; n – частота обертання барабана в об/хв.

Рушійна сила процесу осадження в центрифугах на 2 – 3 порядки вища, ніж у відстійниках, завдяки цьому продуктивність центрифуг вище

продуктивності відстійників, і в них можна відокремлювати дрібні частинки розміром порядку 1 мкм.

Експериментальна частина

Прилади, обладнання та матеріали: центрифуга; сушильна шафа; центрифужні пробірки на 10 см³; ваги технічні; аналітичні ваги; фільтри паперові; фарфорові чашки; скляні палички; суспензії, отримані з лабораторних робіт №1–3.

Порядок виконання роботи

Процес ефективності ущільнення осадів на центрифугі: процес проводиться на лабораторній центрифугі за кількості обертів $n = 2000$ об./хв упродовж 2 хвилин. За формулою (9) потрібно виконати розрахунок фактору розділення осаду та відобразити його в протоколі лабораторної роботи. Для цього з попередніх лабораторних робіт в три пронумерованих і зважених на технічних вагах пробірки (m_2) з наповненими суспензіями об'ємом 10 см³ поміщають в центрифугу. Перед включенням на центрифугі задається час центрифугування, потім встановлюється необхідна кількість обертів. Після центрифугування вимірюється висота прошарку фугата (h), та розраховується об'єм ущільненого в пробірках кека (V_k), (рис. 5). Отримані результати об'єму осаду потрібно внести до табл. 2.

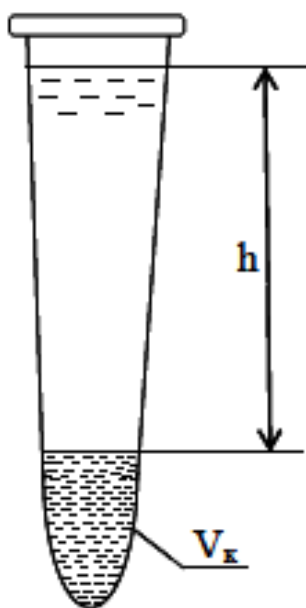


Рис. 5. Схема розділення фаз в центрифужній пробірці

Далі з пробірок зливається вміст освітленого розчину в скляний стакан, залишаючи лише ущільнений осад.

Визначення вологості осаду. Вологість отриманих осадів розраховують за такою формулою:

$$W_u = \frac{(m_1 - m_2) - (m_3 - m_4)}{(m_1 - m_2)} \cdot 100\% . \quad (10)$$

де m_1 – маса пробірки з вологим осадом, г; m_2 – маса порожньої пробірки г; m_3 – маса фарфорової чашки з висушеним осадком на фільтрі, г; m_4 – маса порожньої фарфорової чашки і фільтра, г.

Для цього на технічних вагах зважуються пробірки з ущільненим осадом (m_1). За допомогою скляної палички відбирається повністю вміст осаду в пробірці на пронумеровані і зважені на аналітичних вагах фільтри паперові, які поміщені у фарфорові чашки (m_4). Після цього фільтри разом з осадами, які поміщені в фарфорові чашки, висушуються в електросушильній шафі за температури 105 °С упродовж 1 години. Потім вони охолоджуються і зважуються (m_3). За формулою (10) потрібно виконати розрахунок вологості осадів та відобразити його в протоколі лабораторної роботи. Отримані значення вологості осадів вносяться до табл. 3.

Визначення густини осаду: визначення густини осаду характеризує масу одиниці його об'єму і виражається відношенням маси всіх складових компонентів осаду до його об'єму, тобто :

$$\rho = \frac{m}{V} . \quad (11)$$

де m – маса осаду з усіма складовими, кг; V_k – об'єм осаду, м³.

За формулою (11) здійснюється розрахунок густини осадів, які повинні бути відображені в протоколі лабораторної роботи, а отримані значення вносяться до табл. 3.

Результати властивостей отриманих осадів під час ущільнення їх на центрифугі, враховуючи фактор розділення $\Phi_p = \dots$

№ п/п	Найменування методу очистки стічних вод	Густина осаду, кг/м ³	Вологість осаду, %
1	Нейтралізація розчином гідроксидом натрію		
2	Феритизація з термічних способом активації		
3	Феритизація з електромагнітним імпульсним способом активації		

На основі табличних даних зробити висновок про ефективність ущільнення осадів різними методами.

Контрольні запитання

1. У чому полягає небезпека накопичення осадів гідроксидів важких металів на несанкціонованих звалищах?
2. Назвіть основні переваги осадів феритизації порівняно з осадами традиційних реагентних методів.
3. У чому полягає суть ущільнення осадів і які методи для цього є?
4. Як охарактеризувати вологість осаду і як її розрахувати?
5. Яким чином визначити густину осаду?
6. Що таке фактор розділення і як його розрахувати?

Список літератури

1. *Таварткіладзе І.М.* Водовідведення. Очистка стічних вод : навчальний посібник у 2-х кн. Книга 1: Очистка міських та промислових стічних вод / І.М.Таварткіладзе, О.М. Нечипор. – Київ : КНУБА, 2014. – 252 с.
2. *Гіроль М.М.* Технології водовідведення промислових підприємств : навчальний посібник / М.М. Гіроль, А.М. Гіроль, А.М. Гіроль. – Рівне : НУВГП, 2013. – 625 с.
3. *Петрук В.Г.* Природоохоронні технології : навчальний посібник. Ч.2 : Методи очищення стічних вод / В.Г. Петрук, Л.І. Северин, І.В. Васильківський. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 254 с.
4. *Таварткіладзе І.М.* Водовідвідні системи промислових підприємств. Процеси і апарати: навчальний посібник / І.М. Таварткіладзе. – Київ : КНУБА, 2002. – 96 с.
5. *Петрук В.Г.* Природоохоронні технології : навчальний посібник. Ч.3 : Методи переробки осадів стічних вод / В.Г. Петрук та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 324 с.
6. *Донченко М.І.* Екологічна безпека гальванотехніки. Стічні води. Механічна та сорбційна очистка : підручник / М.І. Донченко, С.В. Фроленкова, Т.І. Мотронюк. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 202 с.
7. *Кочетов Г.М.* Ресурсоощадна феритизаційна переробка гальванічних відходів : монографія / Г.М. Кочетов, Д.М. Самченко. – Київ : КНУБА, 2020. – 196 с.

Навчально-методичне видання

ВОДОВІДВЕДЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
для студентів, які навчаються за спеціальністю
192 «Будівництво та цивільна інженерія»,
спеціалізація «Водопостачання та водовідведення»

Укладачі: **Самченко** Дмитро Миколайович,
Кочетов Геннадій Михайлович,
Нечипор Оксана Михайлівна

Випусковий редактор *Л. С. Тавлуй*
Комп'ютерне верстання *Д. М. Ніколаєвич*

Підписано до друку 25.06.2024. Формат 60 x 84_{1/16}
Ум. друк. арк. 1,63. Обл.-вид. арк. 1,75.
Електронний документ. Вид. № 38/III-24

Видавець і виготовлювач:
Київський національний університет будівництва і архітектури
Проспект Повітряних Сил, 31, Київ, Україна, 03037

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002