

ля відділення осаду кислота перетворювалася в дуже в'язку масу, втрачала текучість та ставала непридатною для подальшої переробки.

Висновки. Дослідження кислотного розкладання низькоякісних фосфоритів зі співвідношенням $R_2O_3: P_2O_5 \gg 0,08$ в ЕФК проводили в умовах, наближених до умов безперервного процесу розкладання в промислових умовах.

Встановлено, що при безперервному процесі екстракції відбуваються накопичення домішок фосфатів заліза та алюмінію у розчині розбавлення і падіння коефіцієнта вилучення P_2O_5 лише до 3-4 циклу, після чого концентрація фосфатів полуторних оксидів і коефіцієнт вилучення стабілізуються. Збільшенням вмісту SO_3 у рідкій фазі пульпи з 1,5 до 4,0% (по масі) можливо збільшити $K_{вилуч} P_2O_5$ з 50 до 90%, що пов'язано з тим, що зі зростанням концентрації SO_3 стабільність пересичених по фосфатах заліза і алюмінію фосфатнокислих розчинів зростає, а ступінь співосадування іонів $НРО_4^{2-}$ з дигідратом сульфату кальцію, що кристалізується, зменшується.

Здійснення процесу екстракції при температурі 50-60°C з підтриманням надлишкового SO_3 у продукційній кислоті 3-4% (по масі) дозволяє отримати фосфатну кислоту концентрацією 18-20% при ступені вилучення P_2O_5 89-92%. Внесення затравочних кристалів в кількості 15:100 сприяє покращенню умов кристалізації та фільтрівності сульфату кальцію.

Отриману фосфатну кислоту слід переробляти у мінеральні добрива без попереднього упарювання та зберігання, оскільки перший процес веде до отримання дуже в'язкої маси, непридатної для подальшої переробки, другий – до значних втрат корисних речовин внаслідок випадіння значної кількості осаду, який складається, в основному, з суміші ізоморфних однозаміщених ортофосфатів заліза, алюмінію та кальцію.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ларичева Л.П. Перспективні хімічні технології переробки природних фосфатів / Л.П.Ларичева, Л.В.Осіпова //Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки). – Дніпродзержинськ: ДДТУ. – 2011. – Вип. 1 (16). – С.168-173.
2. Кельман Ф.Н. Методы анализа при контроле производства серной кислоты и фосфорных удобрений / Кельман Ф.Н., Бруцкус Е.Б., Ошерович Р.Х. – М.: Химия, 1965. – 392с.

Надійшла до редколегії 18.03.2016.

УДК 628.16

ІВАНЧЕНКО А.В., к.т.н., доцент
СЛАТОНЦЕВ Д.О., аспірант

Дніпродзержинський державний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИЛУЧЕННЯ ЗВАЖЕНИХ РЕЧОВИН З МІСЬКИХ ТА ПРОМИСЛОВИХ СТИЧНИХ ВОД МЕТОДОМ КОАГУЛЯЦІЇ

Вступ. Зважені або завислі речовини (ЗР) є одними з найбільш розповсюджених забруднень як побутових, так і промислових стічних вод. У випадку міських стічних вод ЗР більшою частиною складаються з мінеральних домішок різноманітного походження дуже малого діаметра (близько 1-100 мкм). У промислових стоках (наприклад, фенольних) ЗР являють собою суміш мікроскопічних часточок коксу з мінеральними включеннями.

Дієвим методом доведення вмісту ЗР до чинних нормативів є використання неорганічних електролітів – коагулянтів [1-3].

Коагуляцію використовують для очищення природних та промислових стічних вод в основному від забруднюючих речовин, які знаходяться в колоїдному завислому стані [4]. Суть її полягає в тому, що у воду додають речовини – коагулянти. Найчастіше – це солі алюмінію й феруму та їх суміші. Оскільки коагулянти є солями сильних кислот та слабких лугів, вони гідролізуються з утворенням золів гідроксидів, які мають розвинену поверхню й добре сорбують різні домішки. При цьому частинки коагулюють разом з колоїдними та завислими речовинами [5].

Із сполук алюмінію, які використовують як коагулянти, можна виділити: сульфат алюмінію, хлорид алюмінію, гідроксохлориди алюмінію, алюмінат натрію. В Україні найчастіше використовують сульфат алюмінію. Даний реагент містить всього 15% Al_2O_3 , тобто вміст активного компонента невисокий. Перевагою цього реагенту є доступність і невисока вартість. До недоліків відносять низьку ефективність, особливо при низьких температурах, можливість підкислення води із низькою лужністю внаслідок гідролізу коагулянту [6].

До другої групи алюмінієвмісних коагулянтів, які широко використовуються в світі, але не поширені в Україні, відносять гідроксохлориди алюмінію (ГОХА). Перевагами ГОХА є те, що вони легко гідролізуються у воді і містять основний компонент у високій концентрації. Це дозволяє досягти високої ефективності очищення при значно меншій концентрації коагулянту. Крім того, при застосуванні ГОХА рН знижується незначно навіть у воді з низькою лужністю.

Поряд із хлоридами і сульфатами алюмінію для очищення води використовується алюмінат натрію. Особливістю цього коагулянту є те, що при гідролізі у воді він утворює негативно заряджені золі і тому є ефективним для вилучення позитивно заряджених домішок, що обмежує його використання.

Із ферумвмісних коагулянтів найбільш широко застосовуються: хлорид феруму (III) – $FeCl_3$, сульфат феруму (III) – $Fe_2(SO_4)_3$ та сульфат феруму (II) – $FeSO_4$.

Якщо солі феруму (III) при коагулюванні гідролізуються при рН = 4-6, то солі феруму (II) – при рН \approx 9 [7].

Порівнюючи сульфат алюмінію й хлорид феруму, слід зазначити, що при низьких температурах перший практично не коагулює, тоді як здатність другого не залежить від температури води. Недоліком $FeCl_3$ є здатність катіонів феруму утворювати кольорові комплекси з деякими органічними домішками, що містяться у воді [8]. При цьому кольоровість води значно збільшується.

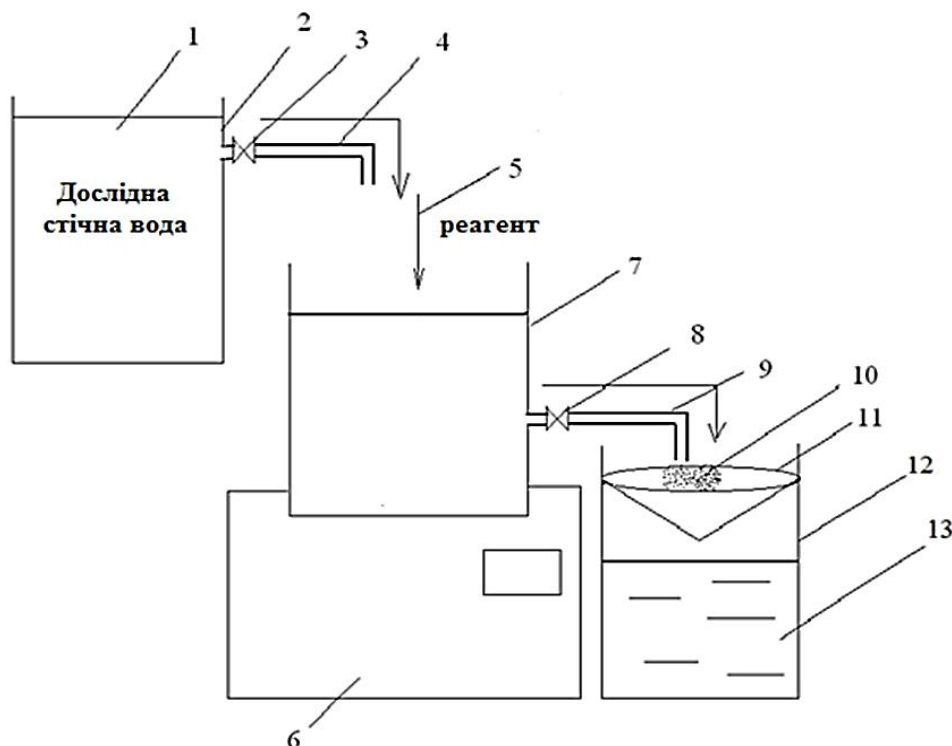
Актуальність проблеми очистки стічних вод від ЗР полягає у тому, що, незважаючи на низьку екологічну небезпечність, вони дуже важко піддаються вилученню через малу швидкість осадження, яка не дозволяє використовувати метод відстоювання. У той же час надмірна концентрація ЗР може призвести до порушення роботи очисних споруд і засмічування комунікацій та апаратури. Також недотримання вимог регламенту до вмісту ЗР, перед подачею на стадію біологічної очистки, згубно впливає на діяльність мікроорганізмів активного мулу. Нажаль, подібні перевищення постійно супроводжують роботу більшості очисних споруд України. Тому знаходження ефективних методів очищення стічних вод від ЗР є важливим науковим завданням.

Постановка задачі. Метою даної роботи є дослідження закономірностей впливу дози коагулянтів на процес вилучення ЗР зі стічних вод і експериментальне визначення найефективніших реагентів та їх оптимальних доз.

Результати роботи. Для проведення експериментальних досліджень було зібрано лабораторну установку, схема якої представлена на рис.1.

Установка складається з трьох ємностей 2, 7, 12, оснащених запірними вентилями 3, 8, що з'єднані трубопроводами 4, 9, магнітної мішалки 6 та фільтру 11.

Принцип дії установки наступний. Стічну воду 1 подавали у ємність 2, оснащену запірним вентиляем 3. Після цього вона потрапляла з ємності 2 у реактор 7 по трубопро-



1 – дослідна стічна вода; 2 – ємність; 3,8 – запірні вентиля; 4,9 – трубопровід; 5 – подача реагенту; 6 – магнітна мішалка; 7 – ємність для змішування реагенту зі стічною водою; 10 – осад після обробки; 11 – фільтр; 12 – ємність для відділення осаду від стічної води; 13 – очищена стічна вода

Рисунок 1 – Схема лабораторної установки очистки стічних вод методом коагуляції

воду 4, де змішувалась з реагентами за допомогою магнітної мішалки 6. Потім рідина відфільтровувалась через паперовий фільтр 11, на якому залишався осад 10, а фільтрат 13, який представляв собою очищені стоки, опинявся у ємності 12.

Для проведення експериментальних досліджень використовували стічні води хімічного підприємства ПАТ ЄВРАЗ «Дніпродзержинський КХЗ» та правобережних очисних споруд м. Дніпродзержинська.

Суть експериментальних досліджень полягала у наступному. Проби стічних вод обробляли неорганічними коагулянтами, дози яких варіювали у межах економічної доцільності (20-60 мг/дм³). У дослідженнях використовували наступні коагулянти: FeCl₃, FeSO₄, AlCl₃ для промислових стічних вод та FeCl₃, Fe₂(SO₄)₃, FeSO₄, AlCl₃, Al₂(SO₄)₃ для міських. Перемішування стоків та реагентів відбувалось за допомогою магнітної мішалки (перші 5 хвилин після додавання коагулянту). Потім суміш відстоювали протягом двох годин, причому через певні проміжки часу (30, 60 і 120 хвилин) відбирали проби для визначення залишкової концентрації зважених речовин у освітленій стічній воді. Враховуючи технологічну доцільність, тривалість контактування промислових стоків з переліченими коагулянтами становила 30 хвилин.

Вихідна концентрація зважених речовин у фенольних промислових стічних водах дорівнювала 140 мг/дм³. Результати експериментальних досліджень представлено у табл.1.

Згідно з дослідними даними, найвища ефективність вилучення зважених речовин спостерігається при використанні сульфату феруму (II) у кількості 20 мг/дм³, тому на практиці рекомендовано використовувати саме цей реагент перед біологічною очисткою.

Таблиця 1 – Результати обробки фенольних промислових стічних вод неорганічними коагулянтами при тривалості контактування 30 хвилин

Коагулянт	Доза, мг/дм ³	Залишковий вміст зважених речовин, мг/дм ³
FeCl ₃	20	140
	40	90
	60	40
FeSO ₄	20	40
	40	40
	60	40
AlCl ₃	20	60
	40	40
	60	40

Метою обробки міських стічних вод коагулянтами було дослідження ефективності сумісного вилучення зважених речовин і фосфатів, а також встановлення оптимальних доз реагентів. Результати досліджень коагуляційної обробки міських стічних вод зведено у табл.2.

У ході досліджень виявлено, що найбільш ефективним коагулянтом для очистки міських стічних вод є хлорид алюмінію. Даний реагент забезпечує найвищий ступінь вилучення зважених речовин та фосфатів при мінімальному часі контактування зі стічною водою (30 хвилин). Інші реагенти для досягнення подібних результатів вимагають значно більшого часу контактування, або не забезпечують потрібного ступеня очистки взагалі.

Критерієм ефективності застосування коагулянтів при вилученні зважених речовин слід вважати їх гранично допустиму концентрацію (ГДК) на виході з очисних споруд – 9,25 мг/дм³. Необхідний ступінь очистки досягається при використанні хлориду феруму (III) у кількості 60 мг/дм³ та часі обробки 2 години і хлориду алюмінію у кількості 60 мг/дм³ та тривалості процесу 30 хвилин.

Таблиця 2 – Результати коагуляційної обробки міських стічних вод

Коагулянт	Доза, мг/дм ³	Зважені речовини, мг/дм ³	Фосфати, мг/дм ³	Зважені речовини, мг/дм ³	Фосфати, мг/дм ³	Зважені речовини, мг/дм ³	Фосфати, мг/дм ³
1	2	3	4	5	6	7	8
FeCl ₃	20	110	6,25	75	5,25	50	2,25
	40	50	3,50	20	2,65	20	2,00
	60	50	2,75	10	2,50	7,5	0,75
Fe ₂ (SO ₄) ₃	20	75	4,50	75	3,25	75	3,00
	40	25	2,50	25	1,00	25	1,00
	60	12,5	1,00	12,5	1,00	12,5	1,00
FeSO ₄	20	110	5,25	75	3,50	50	3,25
	40	100	2,75	75	2,50	50	1,50
	60	75	1,50	50	1,25	25	1,00
AlCl ₃	20	25	3,75	24	3,00	22	1,50
	40	24	1,75	22	1,25	20	0,25
	60	9	0,25	9	0,25	9	0,25

Продовження таблиці 2

Al ₂ (SO ₄) ₃	20	110	3,00	90	3,00	70	2,00
	40	75	2,50	50	2,00	45	1,75
	60	65	2,00	40	1,75	30	1,50
Час, хвилин	30		60		120		

Затверджена гранично допустима концентрація (ГДК) фосфатів перед скидом у водойми складає 3,5 мг/дм³, причому даний показник часто перевищується, що призводить до евтрофікації поверхневих водойм України. Уникнути цього негативного явища можна додаванням до стічної води коагулянтів. Встановлюючи оптимальну дозу коагулянту, слід мати на увазі, що найбільш доцільне буде одночасне вилучення як фосфатів, так і зважених речовин. У цьому відношенні, на основі проведених досліджень, можна рекомендувати хлорид алюмінію за оптимальної дози 60 мг/дм³ та часу обробки 30 хвилин.

Висновки. В результаті експериментальних досліджень встановлено позитивний вплив методу коагуляції на глибину вилучення ЗР зі стічних вод. Використання коагулянтів дозволяє досягти ступеня очистки від ЗР 77% для фенольних стоків і 93% – для міських. У ході досліджень встановлено, що ефективна коагуляція ЗР відбувається у перші 30 хвилин після добавки реагенту, який допускається подавати у вигляді порошку або розчину. Отримано кінетичні закономірності вилучення ЗР зі стічних вод в інтервалі доз реагентів 20-60 мг/дм³. Показано, що через 30 хвилин коагуляційного процесу ступінь очистки від ЗР збільшується в середньому на 100 мг/дм³ (для міських стоків з 110 до 9 мг/дм³, а для промислових – з 140 до 40 мг/дм³). Тобто метод коагуляції доцільно використовувати для інтенсифікації процесів освітлення у технології очистки міських і промислових стічних вод.

Публікація містить результати досліджень, проведених за грантом Президента України за конкурсним проектом 584 Державного фонду фундаментальних досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Abdelaal A.M. Using a natural coagulant for treating wastewater / Abdelaal A.M. // Eighth International Water Technology Conference, IWTC8. – 2008. – P.781-792.
2. Nur Fathinatul Akmal binti Saharudin Wastewater Treatment by using Natural Coagulant / Nur Fathinatul Akmal binti Saharudin, Rajesh Nithyanandam // Eureka. – 2014. – N.2 – P.120-121.
3. Hossam Altaher Pretreatment of Wastewater Streams from Petrochemical Industries Using Coagulation / Hossam Altaher, Emad ElQada, Waid Omar // Advances in Chemical Engineering and Science. – 2011. – N.1 – P.245-251.
4. Пат. 58924 Україна, СО2F1/49. Спосіб очищення природних і стічних вод / Душкін С.С., Солодовник М.В., Корінько І.В., Шевченко Е.Ю., Сокольник В.І., Бройде І.Л.; заявник та патентовласник Харківська національна академія міського господарства. – № u201012593; заявл. 25.10.2010; опубл. 26.04.2011, Бюл. № 8.
5. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды / А.Д.Смирнов. – Л.: Химия, 1982. – 168с.
6. Когановский А.М. Адсорбция и ионный обмен в процессах водоподготовки и очистки сточных вод / А.М.Когановский. – К.: Наукова думка, 1983. – 240с.
7. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы / Ю.Г.Фролов. – М.: Химия, 1988. – 464с.
8. Захаров В.М. Алюможелезные коагулянты из отходов металлургического производства / В.М.Захаров, И.В.Николаев, Г.И.Луценко // Химия и технология воды. – 1985. – Т.7. – № 5. – С.65-66.

Надійшла до редколегії 13.10.2016.