

UDC 504.064.4:661.872.22

REDUCING THE TECHNOGENIC LOAD ON THE ENVIRONMENT DUE TO THE TECHNICAL SOLUTION FOR THE DISPOSAL OF IRON SULPHATE

Hanna V. Barsukova, Marina Y. Savchenko-Pererva

Sumy National Agrarian University, H. Kondratieva str., 160, Sumy, Ukraine, 40021

Received 21 June 2020; accepted 2 September 2020; available online 4 November 2020

Abstract

The aim of the study is to reduce the technogenic load on the environment from acidic wastes of titanium production by developing a technology for utilizing iron sulphate to obtain ferum paste (II, III) of oxides-hydroxides and ammonium sulfate solution as target products. The accumulation of such large-tonnage waste as iron vitriol is one of the environmental problems in the regions where such enterprises are located.

Iron sulphate is 24 % free sulfuric acid. Thanks to biogeochemical processes, solutions of sulfuric acid, penetrating through groundwater, reach large areas of land. As a result, the structure of the soil changes. Contamination occurs with titanium and chromium ions, which are part of the waste. As a result of favorable meteorological conditions, it spreads in the form of acid rain over long distances and damages ecosystems. This article is devoted to the problem of formation, accumulation and disposal of chemical waste. A radical solution for the utilization of accumulated iron sulphate has been proposed. The main physical and chemical processes of the developed technology are revealed. The processes of ammonolysis, oxidation and formation of a suspension, as well as filtration of the precipitate were studied. It was found that the resulting precipitate is magnetite. Obtaining this magnetite allows it to be used in the steel industry.

Key words: environment; iron sulfate; ammonolysis; oxidation; target products.

ЗНИЖЕННЯ ТЕХНОГЕННОЇ НАВАНТАЖЕННЯ НА ДОВКІЛЛЯ ЗА РАХУНОК ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ ПО УТИЛІЗАЦІЇ ЗАЛІЗНОГО КУПОРОСУ

Ганна В. Барсукова, Марина Ю. Савченко-Перерва

Сумський національний аграрний університет, вул. Герасима Кіндратієва, 160, Суми, 40021, Україна

Анотація

Метою дослідження є зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище від кислотних відходів титанового виробництва шляхом розробки технології утилізації залізного купоросу з отриманням в якості цільових продуктів пасту ферум (II, III) оксидів-гідроксидів і розчину амоній сульфату. Накопичення таких багатотоннажних відходів, як залізний купорос, відноситься до ряду екологічних проблем у регіонах, де розташовані такого роду підприємства. Залізний купорос на 24 % складається з вільної сульфатної кислоти. Завдяки біогеохімічним процесам розчини сульфатної кислоти, проникаючи у підземні води, потрапляють на великі площі суші. Внаслідок чого змінюється структура ґрунтів. Відбувається їх забруднення іонами Титану і Хрому, які є частиною відходів. У результаті сприятливих метеорологічних умов забруднення поширюються у вигляді кислотних дощів на великі відстані та завдають шкоди екосистемам. Ця стаття присвячена проблемі утворення, накопичення і знешкодження хімічних відходів. Запропоновано радикальне рішення для утилізації накопиченого залізного купоросу. Визначені основні фізико-хімічні процеси розробленої технології. Вивчено процеси амонолізу, окиснення і утворення суспензії, а також фільтрації осаду. Встановлено, що отриманий осад являє собою магнетит. Отримання цього магнетиту дозволяє використовувати його в сталеливарній промисловості. Отриманий магнетит може бути використаний у сталеливарній промисловості.

Ключові слова: довкілля; сульфат заліза; амоноліз; окиснення; цільові продукти.

*Corresponding author: tel. +380660091070; ; e-mail: rodik2311@gmail.com

© 2020 Oles Honchar Dnipro National University

doi: 10.15421/082018

СНИЖЕНИЕ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ЗА СЧЕТ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ПО УТИЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗНОГО КУПОРОСА

Анна В. Барсукова, Марина Ю. Савченко-Перерва

Сумський національний аграрний університет, ул. Герасима Кондратьєва, 160, Суми, 40021, Україна

Аннотация

Целью исследования является снижение техногенной нагрузки на окружающую среду от кислотных отходов титанового производства путем разработки технологии утилизации железного купороса с получением в качестве целевых продуктов пасты ферум (II, III) оксидов-гидроксидов и раствора аммоний сульфата. Накопление таких многотоннажных отходов как железный купорос относится к ряду экологических проблем в регионах, где расположены такого рода предприятия.

Железный купорос на 24 % состоит из свободной серной кислоты. Благодаря биогеохимическим процессам растворы серной кислоты, проникая в подземные воды, попадают на большие площади суши. В результате меняется структура почвы. Происходит загрязнение ионами титана и хрома, которые являются частью отходов. В результате благоприятных метеорологических условий загрязнения распространяются в виде кислотных дождей на большие расстояния и наносят ущерб экосистемам. Эта статья посвящена проблеме образования, накопления и обезвреживания химических отходов. Предложено радикальное решение для утилизации накопленного железного купороса. Выявлены основные физико-химические процессы разработанной технологии. Изучены процессы аммонолиза, окисления и образования суспензии, а также фильтрации осадка. Установлено, что полученный осадок представляет собой магнетит. Получение этого магнетита позволяет использовать его в сталелитейной промышленности. Полученный магнетит может быть использован в сталелитейной промышленности.

Ключевые слова: окружающая среда; сульфат железа; аммонолиз; окисление; целевые продукты.

Вступ

Серед низки екологічних проблем, які мають місце в Україні, особливо гостро стоїть проблема відходів. Основним джерелом утворення відходів у Сумській області є підприємство хімічної промисловості ПАТ «Сумхімпром». При виробництві титан (VI) оксиду формується багатотоннажний твердий відхід на основі ферум (II) сульфату. У результаті тривалої діяльності цехів по виробництву титан (VI) оксиду в відвалі на території ПАТ «Сумхімпром» накопичилося близько 1.5 млн т залізного купоросу. Зазначений відвал, по суті, має масштаби техногенного родовища, проте він не переробляється через відсутність безпечних технологій. Ситуація ускладнюється тим, що існує значна різниця між обсягами накопичення відходів і обсягами їх знешкодження та використання. Отже, накопичення сульфатної кислоти є основною причиною погіршення екологічних показників регіону [1].

З аналізу ситуації, що склалася, можна прийти до висновку, що утилізація накопиченого відходу є проблемою актуальною. Основою даного дослідження є знаходження такого технічного рішення, яке б радикально дозволило залучити великі обсяги відходу до переробки. Для досягнення такої мети більше шансів у розробці технології переробки залізного купоросу на суміш із ферум (II, III) оксидів-гидроксидів (ОГФ) і розчин амоній сульфату [2–5].

Основним завданням держави для покращення рівня екологічної безпеки регіонів, де розташовані підприємства з титанового виробництва на сьогоднішній день є отримання залізородних окатишів для металургійної промисловості. Вони дозволять скоротити видобуток залізної руди і поліпшити стан навколишнього середовища.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналітичний огляд патентно-технічної літератури показує, що виникла необхідність в розробці нової технології, яка б дозволила б залучити великі об'єми відходу і тим самим покращити екологічний стан регіону, заснована на отриманні тонкодисперсних ферум (II, III) оксидів-гидроксидів (ТОГФ). Пошукова інформація спрямована на знаходження способу, який знешкодить залізний купорос як шкідливий кислий забруднювач навколишнього середовища [6; 7].

Літературний пошук показав, що нейтралізація вільної сульфатної кислоти досягається взаємодією залізного купоросу з аміаком, що призводить до утворення амоній сульфату і ферум (II) оксиду. У 1930-х роках кільком американським фірмам було запропоновано практично ідентичні способи отримання амоній сульфату (що не містить заліза) з ферум (II) сульфату без його попереднього окиснення.

Методи ґрунтувалися на взаємодії водного розчину залізного купоросу з газоподібним аміаком або аміачною водою з утворенням амоній сульфату і ферум (II) гідроксиду [6; 8].

Відомі й інші способи отримання амоній сульфату з залізного купоросу, що характеризуються послідовністю стадій окиснення і дії аміаку. Як правило, для здійснення стадії окиснення в технології використовуються спеціальні окиснювачі-реагенти. При більш глибокому вивченні технологій з'ясовується, що відтворити процесів далеко не просто. Дуже часто для їх реалізації необхідний досить якісний залізний купорос [9–14].

Однак утворення осаду ОГФ – це складний процес. Тому пошук у патентній літературі способів утворення кристалів ОГФ, які можна легко відфільтрувати, залежить від наступних факторів:

а) процеси осадження частинок ферум (II) гідроксиду з використанням високомолекулярних реагентів. Представлені результати експериментальних досліджень кінетики осадження частинок ферум (II) гідроксиду в присутності поліакриламідних домішок. Описана методика проведення досліджень кінетики осадження [6; 15].

б) вплив значної агрегації первинно утворених елементів на осадження суспензії.

Доведено, що процес інтенсивного перемішування впливає на швидкість осадження та утворення суспензії. Експерименти проводилися в лабораторному скляному рефлекторному реакторі, що являє собою циліндричну посудину, усередині якої міститься конус для завантаження реагентів (розчини $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ і NaOH). Результати експериментів порівнювались із розрахунковими даними, виконаними на основі математичної моделі процесу.

Взаємозв'язок між об'ємом утвореного осаду і швидкістю його осадження може бути передбачений на основі емпіричного рівняння для різних типів змішуваних суспензій. Для незмішуваних суспензій осаду $\text{Fe}(\text{OH})_3$ спостерігаються аномально високі швидкості осадження, які на порядок вище, ніж швидкість осадження суспензій того ж самого осаду, змішаного перед початком осадження. Це є наслідком швидкого змішування первинних частинок утвореного $\text{Fe}(\text{OH})_3$. У цьому випадку великі скупчення щільно зв'язаних частинок мають неправильну форму і швидко осаджуються.

Під час плавлення спостерігається поява перших елементів. Однак цей процес призупиняється тоді, коли їх осадження скінчилось. Тому сукупність елементів, зруйнованих під час перемішування, в

майбутньому не відновлюється. Знайдено оптимальні параметри процесу осадження, які дозволяють отримувати агрегати агрегованих частинок максимальних розмірів і, відповідно, збільшувати швидкість осадження, використовуючи менше обладнання [6; 16].

в) вплив умов старіння на вміст води в гранульованих гідроксидах металів. Вивчено поведінку води в окремих і змішаних гідроксидах деяких металів у процесі їх старіння. Показана роль умов зберігання у механізмі старіння гідроксидів металів та вміст у них ОН-груп і H_2O [6; 17].

Узагальнений аналіз зібраної інформації про основні аспекти розробленої технології показав, що, хоча існує чимало публікацій з проблеми переробки залізного купоросу, немає інформації про роботу із застарілими відвалами (техногенними родовищами).

Проведений літературний огляд дозволяє зробити висновок про необхідність розробки оригінального апарату, завданням якого буде отримання сипучих шматків залізного купоросу. Основний принцип роботи апарату – сухе подрібнення шматків і відділення на ситах від непотрібних предметів, які так чи інакше забруднили відвал. Такими забрудненнями можуть бути будівельне і побутове сміття, комодозна сірка і вапняковий щебінь. Металеві компоненти можливі у вигляді деталей відпрацьованих механізмів.

Доцільно отримати слабкий розчин амоній сульфату по відношенню до ферум (II) сульфату. Границі концентрації готового розчину ферум (II) сульфату обов'язково повинні бути співставлені з якістю твердої фази, яка буде отримана амонізом. Згідно з зібраною інформацією, тверда фаза в пульпі раціонально сформована у вигляді магнетиту.

Питання кількісної оцінки процесу відділення продуктів реакції відмивання водорозчинних сполук від твердої фази в літературі не з'ясовано. Однак ефективної промивки водорозчинних солей дуже важко досягти. Відомо, що якісне промивання осаду досягається тільки після 12-кратного промивання [18].

Таким чином, виходячи з багатьох публікацій, найкращі умови для розділення суспензії шляхом декантування або фільтрації встановлюються у разі, коли в суспензії утворюються частинки магнетиту [19–22].

Мета дослідження – зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище від кислотних відходів титанового виробництва шляхом розробки

технології утилізації залізного купоросу з отриманням в якості цільових продуктів пасти ОГФ і амоній сульфату.

Завдання дослідження:

- дослідження впливу залізного купоросу на довкілля;
- проведення хімічного аналізу вихідної сировини (залізний купорос);
- проведення низки дослідів для знаходження оптимальних умов переробки залізного купоросу на амоній сульфат та пасту ОГФ [23];
- вивчення доцільності використання цільових продуктів: амоній сульфату та пасти ОГФ.

Матеріали и методи

Важливим аспектом при проведенні дослідження було дотримання всіх положень методики відбору проб залізного купоросу [23]. Визначення складу відвального залізного купоросу, утвореної пасти ОГФ та її промивання проводилось аналітичним шляхом [23–27].

Було визначено вміст:

- ферум (загальний) [28]. 10 см³ розчину ретельно переносили до редуктора Джонса та додавали 15 см³ сульфатної кислоти та 10 см³ води. У редукторі Джонса проходить процес відновлення протягом 10 хвилин. Через 10 хвилин відновлений розчин зливали у колбу, промиваючи редуктор Джонса спочатку сульфатною кислотою, а потім водою. Отриманий розчин титрували 0.1 N розчином КМnO₄. Титрування закінчувалось при появі слабо-рожевого кольору розчину, який не зникав протягом 30 с. Після появи такого забарвлення на бюретці відмічали об'єм КМnO₄, витраченого на титрування.
- ферум (II) катіон [28]. 10 см³ розчину ретельно переносили до конічної колби для титрування ємністю 250 см³. Отриманий розчин титрували 0.1 N розчином КМnO₄.
- ферум (III) катіон [28] визначали як різницю між масовими частками загального феруму та ферум (II) катіону.
- сульфат (II) аніон (загальний) [29]. 1–2 г пасти ОГФ зважували з похибкою не більше 0.001 г, поміщали у мірну колбу ємністю 250 см³, приливали 10 см³ HNO₃конц., кип'ятили 10–15 хвилин, охолоджували, доводили до мітки, перемішували. Отриманий розчин фільтрували. 50 см³ фільтрату піпеткою переносили до стакану, додавали 25 мл води та нагрівали. До нагрітого розчину додавали 60 мл гарячого BaCl₂. Отриманий розчин кип'ятили 5 хвилин до отримання осаду білого

кольору. Отриманий осад відмивали на фільтрі 200–300 мл гарячої води. Далі фільтрувальний папір разом із осадом переносили до тигля, який потім зважували. Тигель із осадом ставляли на гарячу плитку та прогрівали осад до появи золи. Потім тигель переносили до муфелю, де температура сягала 700 °С. Тигель у печі перебував близько часу. Після цього тигель охолоджували та зважували.

- нітрогену [30]. 1–2 г пасти ОГФ зважували з похибкою не більше 0.001 г, поміщали у мірну колбу ємністю 250 см³, приливали 10 см³ розчину HCl (1:1), кип'ятили 5 хвилин, охолоджували, доводили до мітки, перемішували. Отриманий розчин фільтрували. 10 см³ отриманого розчину переносили піпеткою до конічної колби ємністю 250 см³, додавали декілька крапель метилоранжу до появи червоного кольору. Далі додавали 2 см³ NaOH, 10 см³ буферного розчину, перемішуючи та по стінках колби приливали 5 см³ хлораміну. Колбу закривали пробкою, перемішували та залишали на 15 хвилин.

Потім додавали 5 см³ розчину KCl, 10 см³ розчину сірчаної кислоти (1:10), знову колбу закривали пробкою та залишали у темному місці на 5 хвилин і титрували розчином Na₂S₂O₃ у присутності 0.5 см³ розчину крохмалю, який додавали в кінці титрування після появи слабо-жовтого забарвлення розчину. Титрування продовжували до знебарвлення розчину.

Одночасно проводили контрольний дослід з дистильованою водою і з тією ж кількістю реактивів.

- вологи [31]. Для визначення масової частки вологи у досліджуваному продукті брали наважку приблизно 2–4 г на аналітичних вагах. Наважку поміщали до бюксу та знову зважували. Потім бюкс з наважкою поміщали до сушильної шафи на 3 години. Температура у печі – 105 °С. Після сушіння бюкс витягували із шафи, охолоджували та знову зважували.

Хімічні та фізичні перетворення залізного купоросу проходили на установці, яка складалась з: колби, штативу, мішалки, термометру та електричної плитки. Процеси відмивання пасти ОГФ від надмірного вмісту сульфуру відбувались на установці, яка оснащена нутч-фільтром «Буревестник-ROCKER300» та манометром. Для ефективної фільтрації репульпованого осаду ОГФ на дно воронки вкладали тканину арт. 56277 діаметром 6 см, яку використовують на

сьогодні в цеху жовтих залізоокисних пігментів підприємства ПАТ «Сумхімпром» [1].

Збільшений зразок пасти ОГФ та фільтрату було отримано в умовах Державного підприємства «Сумський науково-дослідний інститут мінеральних добрив та пігментів» [32]. Математичні залежності оптимальних умов технології та розрахунок основних параметрів проводився за допомогою Microsoft Office Excel 2010.

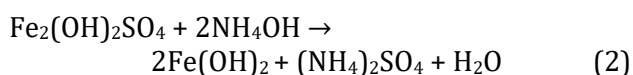
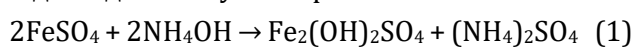
Результати та їх обговорення

Першим етапом створення нової технології було проведення аналізу вихідної сировини. Зразок вихідної речовини для хімічного аналізу було взято безпосередньо на підприємстві ПАТ «Сумхімпром». Склад зразка залізного купоросу, який використовувався в ході дослідження, став базою для нової технології [33].

Масова частка: $Fe_{заг}$ – 19.2 %, Fe^{+2} – 19.0 %, $H_2SO_{4заг}$ – 56 %, $H_2SO_{4вільн}$ – 21 %.

Для здійснення нової технології необхідна аміачна вода [1]. Аміачна вода, яка використовується для амонізації розчинів залізного купоросу, містить 23 % NH_3 .

У основі розроблюваної технології – отримання ТОГФ [1]. У процесі створення нової технології було проведено цілий ряд тестових дослідів. Дослідження показали, що в основі технології переробки ферум (II) сульфату лежить відомий процес амонілізу розчину залізного купоросу аміачною водою. Визначено, що процес амонілізу розчинів вихідного $FeSO_4$ супроводжується утворенням суспензії $Fe(OH)_2$, що важко розділяється, відповідно наступним рівнянням:



Отримана суспензія містить ферум (II) гідроксид, який представляє собою драглеподібний продукт зеленого кольору. Розчинність $Fe(OH)_2$ – 0.96×10^{-6} г / л при 20 °С, густина 3.4 г / см³.

Суспензія, що містить ферум (II) гідроксид, погано розділяється як методом декантації, так і методом фільтрації. Відомо, що технологія практично ніколи не включає процеси виділення $Fe(OH)_2$ з нейтралізованої суспензії.

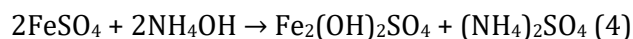
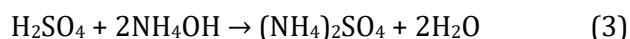
Відзначимо, що реакція згідно з рівнянням (2) протікає повільніше, ніж реакція, відповідна до рівняння (1). Для отримання

суспензії, яка повинна мати прийнятний рівень фільтрації у виробництві пігментів, проводять стадію «визрівання» твердої фази.

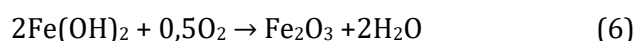
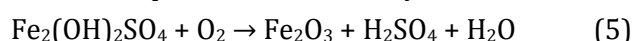
У раніше проведених роботах обґрунтовано, що для формування ферум (III) гідроксидів, які легко фільтруються і розділяються, доцільно вводити у вихідний розчин іони Fe^{3+} та при амонілізі в осад виділяти ферум (III) оксиди переважно у вигляді магнетиту Fe_3O_4 . Виникає потреба в процесі окиснення повітрям [6; 18].

Процес окиснення повітрям проводили при інтенсивному перемішуванні, причому окиснення і нейтралізація можуть здійснюватися спільно або окремо. Дослідженнями було встановлено, що для отримання суспензії, яка досить ефективно розділяється, зовсім не обов'язково, щоб кількості Fe^{2+} і Fe^{3+} у пасти відповідали співвідношенням у магнетиті.

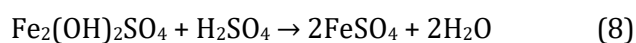
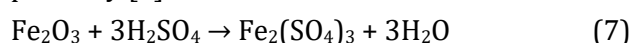
У ході досліджень були визначені умови отримання суспензії, яку можна легко відфільтрувати за допомогою фільтрів під тиском. З проведених дослідів було виявлено, що залізний купорос збагачений достатньою кількістю сульфатної кислоти, яку необхідно було знешкодити та амонізувати амоній гідроксидом, а потім вже проводити неповний амоніліз.



У отриманій суспензії проводиться потім часткове окиснення повітрям двовалентного заліза до тривалентного стану.



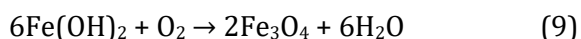
Під час окиснення кислотність суспензії різко падає з 7.5 до 4. Заздалегідь вихідний зразок залізного купоросу було розділено навпіл. З першою частиною було проведено знешкодження сульфатної кислоти, яка входить до складу відходу, та неповний амоніліз, внаслідок чого утворилась суспензія. Для покращення процесу фільтрації такої суспензії було додано другу частину вихідного розчину [1].



Процес поєднання суспензії та другої частини первинного розчину дає можливість знаходження в одному розчині двох та трьох валентного заліза одночасно.

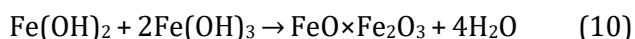
Таким чином, утворюється вторинний розчин, який обробляють аміачною водою. Кислотність такого розчину знижується до 7–8. Одночасно відбувається процес окиснення за рахунок пропускання через розчин повітря. У результаті утворюється суспензія зі складним хімічним складом. Суспензія має досить високу ступінь фільтрації, осад має магнітні властивості.

Процес окиснення повітрям і утворення твердої фази є наступним:



Реакцію окиснення проводять при рН середовища рівною 8 і температурі 80 °С. Повітря при цьому барботують в розчин. Магнетит має чорний колір і густину 5.2 г / см³.

При додаванні коагулянту швидкість осадження магнетиту збільшується. Утворення магнетиту з розчинів необхідно розглядати як взаємодію ферум (II, III) гідроксидів і оксидів:



Однак існує вірогідність того, що спочатку ферум (II) гідроксид окиснюється до ферум (III) гідроксиду. Утворений Fe(OH)₃ взаємодіє з неокисненим Fe(OH)₂. Але при виробництві жовтих пігментів під час окиснення утворюється легкофільтрований осад гетиту (FeOOH) і H⁺.

Іони H⁺, які вивільнилися, знижують рН суспензії. Відповідно до цього з розчинів солей тривалентного феруму при надлишковій амонізації може відбутися несприятливий процес утворення солей типу FeOHSO₄, Fe(OH)₂SO₄, Fe(OH)₂(SO₄)₂ [1].

Поява в розчині таких солей уповільнює процес фільтрації та підвищує вміст SO_{3заг} в осаді. Наявність Сульфуру погіршує якість металургійної сировини. Тому невідмитий від SO_{3заг} осад не може бути корисним для цільового використання.

Висновки.

1. Актуальна науково-технічна задача в напрямку реалізації принципів підвищення рівня екологічної безпеки регіонів, в яких розташовані підприємства з виробництва пігментного титан (IV) оксиду, вирішена шляхом розробки нової технології утилізації накопиченого багатотоннажного відходу.

2. Хімічний склад зразків Іршинського ільменітового концентрату і відходу майже однаковий, тому моногідратний залізний купорос можна використовувати в якості

сировини для металургійної промисловості, отримуючи з нього залізородні окатиші.

3. Встановлено, що при простій технології обробки розчину залізного купоросу аміачною водою за схемою «окиснення – нейтралізація» або «нейтралізація – окиснення» швидкість окиснювальних процесів низька, отримані суспензії погано фільтруються.

4. Для формування ОГФ, які легко фільтруються і розділяються, доцільно вводити в вихідний розчин іони Fe³⁺ і при амонізації в осаді виділяти ферум (III) оксиди переважно у вигляді магнетиту Fe₃O₄. Таким чином, в розроблюваної технології була обґрунтована потреба в організації процесу окиснення Fe²⁺ до Fe³⁺ [15].

5. Оскільки процес «старіння» досить тривалий і може тривати від десяти годин до декількох днів, ця операція є неприйнятною для розроблюваної технології. Саме в наших дослідженнях основна увага приділялася питанню досягнення технологічної прийнятності та економічності стадії відділення ОГФ від розчину амоній сульфату.

6. Технологія утворення ТОГФ дозволить замінити на підприємствах чорної металургії бетоніт, який вводиться в якості водовбирної добавки в залізородний концентрат на стадії агломерації. Це поліпшить екологічний стан регіонів, де розташовані хімічні підприємства, що виробляють титан (IV) оксид.

Bibliography

- [1] Барсукова Г. В. Зменшення антропогенного впливу на навколишнє середовище при утилізації заліза залізного пігменту діоксиду титану: дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата / Ганна Володимирівна Барсукова. – Сумський державний університет, 2017. – 157 с.
- [2] Гурець Л. Напрямок утилізації сульфату заліза / Л. Гурець // Матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів та студентів інженерного факультету. Конференція присвячена Дню науки України та 60-річчю Сумського державного університету. – Суми: Видавництво СумДУ. – 2008. – Ч. 1. – 126с.
- [3] Хорошавин Л.Б. Основные технологии переработки промышленных и твердых бытовых отходов: [учебник. руководство] / Л.Б. Хорошавин, В.А. Беляков, Е.А. Свалов // Минобрнауки РФ, Урал. – Екатеринбург: Уральское изд-во. – 2016. – 220с.
- [4] Хорошавин Л.Б. Экологическое развитие технологий переработки отходов /Л.Б. Хорошавин, В.А. Беляков // Наука вчера, сегодня, завтра: XXX Международная научно-практическая конференция. – Новосибирск: Изд-во АНС Сибак. – 2016. – №1 (23). – С.69–81.
- [5] Технологія неорганічних речовин. Частина 3. Мінеральні добрива : навчальний посібник / М.Д. Волошин, Я. М. Черненко, А. В. Іванченко,

- М. А. Олійник. — Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2016. — 354 с.
- [6] Барсукова Г. Аналіз наукових та інформаційних джерел для отримання легко фільтруються осадів Fe (OH)₃. Нові рішення в сучасних технологіях / Г. Барсукова, С. Вакал, Є. Карпович // Вісник НТУ «ХПІ». – 2013. – С. 160–164.
- [7] Пат. 90156 Україна, МПК C01G 49/08 (2006.01). Спосіб отримання суміші тонкодисперсних оксидів-гідроксидів заліза (ОГЗ) з магнітними властивостями / Г.В. Барсукова, С.В. Вакал, Є.О. Карпович (Україна); заявник та патентовласник СумДУ - № 201315467; заявл. 30.12.2013; опубл. 12.05.2014, Бюл. №9. – 3с.
- [8] Rawlings D. E. Characteristics and adaptability of iron- and sulfur-oxidizing microorganisms used for the recovery of metals from minerals and their concentrates / D. E Rawlings // Review. Microbial Cell Factories. – 2005. – P. 4–13.
- [9] Chekioua A. Purification of H₂SO₄ of pickling bath contaminated by Fe(II) ions using electro dialysis process / A. Chekioua, R. Delimi // International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability, TMREES15. Energy Procedia 74. – 2015. – P. 1418–1433.
- [10] Guikuan Y. Speciation of the H₂SO₄-Fe₂(SO₄)₃-FeSO₄-H₂O system and development of an expression to predict the redox potential of the Fe³⁺/Fe²⁺ couple up to 150 °C / Y. Guikuan, Z. Liming, G. O. Oscar, A. Edouard // Hydrometallurgy. -2014. – P. 147–148:196–209. DOI: 10.1016 / j.hydromet.2014.05.008
- [11] Effects of dissimilatory sulfate reduction on Fe-III (hydr)oxide reduction and microbial community development / M.J. Kwon, M.I. Boyanov, D.A. Antonopoulos [et al.] // Geochim Cosmochim Acta. – 129. – 2014. – P. 177–190.
- [12] Hongmin W. Application and Progress of Chemical Iron Sludge / W. Hongmin, L. Manman // Journal of Chemical and Pharmaceutical Research. – 2016. – N 8(7). – P. 98–103.
- [13] Feng X. Titanium white sulfuric acid concentration by direct contact membrane distillation / X. Feng, L. Jiang, Y. Song // Chemistry Eng. J. – 2016. – Vol. 285. – P. 101–111.
- [14] Environmental Protection of Chemical Industry / L. Q. Zhang, X. F. Liu, Y. J. Wang [et al.] // J. Chem. Pharm. Res. – 2011. – 31(03). – 244–247.
- [15] Heyden B.P. Application, Chemical Interaction and Fate of Iron Minerals in Polluted Sediment and Soils / B.P. Heyden, A.N. Roychoudhury // Cur Pollution. – 2015. – Rep 1. – P. 265–279.
- [16] A review of approaches and techniques used in aquatic contaminated sediments: metal removal and stabilization by chemical and biotechnological processes / A. Akcil, C. Erust, S. Ozdemiroglu [et al.] // J. Clean Prod. – 2015. –P. 86:24–36.
- [17] Mun A. Influence of aging conditions on water content in pelletized metal hydroxides / A. Mun // Integrated use of mineral raw materials. – 1981. – № 12. – 12L136. – P. 29–32.
- [18] Барсукова Г. Особливості етапів промивання та відстоювання осаду від оксидів-гідроксидів заліза (ОГЗ)/ Г. Барсукова // Інноваційний розвиток сучасної науки: Збірник статей Міжнародної науково-практичної конференції. - Уфа. - 2014. – С.3. - С. 26–28.
- [19] Вплив додавання фосфогіпсу на виділення фосфору при біохімічній обробці шламу стічних вод / Ю.Черниш, М. Балінтова, Л. Пляцук [та ін.] // Міжнародна конференція присвячена навколишньому середовищу “Охорона здоров'я”. – 2018. – С. 1–14.
- [20] Санников А. А. Исследование некоторых процессов образования оксида и гидроксида железа (III) применительно к технологии производства железооксидных пигментов / А.А. Санников // Сборник 5-й научно-технической конференции УПИ. – 1976. – 16L132. – С. 86–87.
- [21] Study of Precipitates from Mine Water after Defrosting and Oxidation / M. Balintova, S. Demcak, M. Holub, M. Hurakova // Solid State Phenom. – 2016. - P. 234–239.
- [22] Пат. 272686 Канада, МПК C 01 G 49/08. Production of magnetite from ferrous salt solutions / W. Kunda (Canada); заявник та патентовласник Sherrit Gordon Mines - № 23L116P; заявл. 25.02.77; опубл. 27.10.81.-5с.
- [23] National Center for Biotechnology Information. Summary PubChem Compound for CID 6097028, Ammonium Sulfate. Retrieved October 10, 2020, from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ammonium-sulfate>.
- [24] Synthesis, characterization, applications, and challenges of iron oxide nanoparticles / A. Ali, H. Zafar, M. Zia [et al.] // Nanotechnol Sci Appl. – 2016. – P. 49–67.
- [25] Mohapatra M. Synthesis and applications of nano-structured iron oxides/hydroxides – a review / M. Mohapatra, S. Anand // International Journal of Engineering, Science and Technology. – 2010. – Vol. 2. – N 8. – P. 127–146.
- [26] Babay S. Synthesis, structural and spectroscopic characterizations of magnetite g-Fe₂O₃ prepared by one-step co precipitation route / S. Babay, T. Mhiri, M. Toumi // J. Mol. Struct. – 2015. – 1085. – P. 286–293.
- [27] Synthesis, Characterization and Applications of Iron Oxide Nanoparticles – a Short Review / E. A. Campos, D. V. Stockler Pinto, J. I. Sampaio de Oliveira [et al.] // J. Aerosp. Technol. Manag., São José dos Campos. – 2015. – Vol.7. – N 3. – P. 267–276.
- [28] ГОСТ 23581.0.-2008. Национальный стандарт российской федерации. Железные руды, концентраты, агломераты и окатыши. - Общие требования к методам химического анализа, 2008. - 16с.
- [29] ГОСТ 10671.5.-1974. Межгосударственный стандарт. Методы определения сульфатов. - Госстандарты СССР: СС, 1974. – 9с.
- [30] ГОСТ 10671.4. – 2016. Государственные стандарты СССР. Методы определения примеси соединений азота общие. - Госстандарты СССР: СС, 2016. – 16с.
- [31] Ahmed M. J. Simple spectrophotometric method for the determination of iron(II) aqueous solutions / M. J. Ahmed, U. K. Roy // Turk J Chem. – 2009. – N 33. – P. 709–726.
- [32] Карпович Э. А. Вовлечение в производство удобрений кислого железного купороса / Э.А. Карпович, В.Г. Зареченный // Экология и здоровье человека. Утилизация отходов: труды конференции. – Щелкино.- 2001. –№ 2. - С. 396–397.
- [33] ГОСТ 4148. – 1978. Государственные стандарты СССР. Сульфат железа (II) 7-водный. Характеристики. - Государственные стандарты СССР, 1978. – 9с.

References

- [1] Barsukova, H. V. (2017). *Reducing anthropogenic impact on the environment on disposal of iron sulphate pigment titanium dioxide production* (Candidate of Technical Sciences dissertation). https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/52071/1/diss_Barsukova.pdf;jsessionid=E4E58BF2BD24F0E367AB129118A4908E
- [2] Gurets, L. (2008). [Directions of utilization of iron sulphate]. *Publ. House*, (1), 126-127 (in Ukrainian).
- [3] Horoshavin, L.B., Belyakov, V.A., Svalov, E.A. (2016). *[Basic technologies for processing industrial and solid municipal waste: textbook. manual]*. Publ. House. (in Russian).
- [4] Horoshavin, L.B., Belyakov, V.A. (2016). [Ecological development of waste processing technologies]. *Publ. House*, 1(23), 69–81 (in Russian).
- [5] Voloshin, M.D., Chernenko, Ya. M., Ivanchenko, A.V., Oliynyk, M.A. (2016). *[Technology of inorganic substances. Mineral fertilizers]*. Textbook. Dniprodzerzhynsk: DSTU. (in Ukrainian).
- [6] Barsukova, H., Vakal, S., Karpovych, E. (2013). [Analysis of scientific and information sources for obtaining easily filtered precipitates of $\text{Fe}(\text{OH})_3$. New solutions in modern technologies]. *Bull. of NTU «KhPI»*. Kharkiv, 160–164 (in Ukrainian).
- [7] Barsukova, G.V., Vakal, S.V., Karpovich, E.O. (2014). The method of obtaining a mixture of finely divided oxides-hydroxides of iron (OGZ) with magnetic properties. *Ukraine Patent No. 90156* U. Kyiv, Ukraine. Ukrainian Institute of Industrial Property.
- [8] Rawlings, D. E. (2005). Characteristics and adaptability of iron- and sulfur-oxidizing microorganisms used for the recovery of metals from minerals and their concentrates. *Micr. Cell Fact. Rev.*, 4–13. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-4-13>
- [9] Chekioua, A., Delimi, R. (2015). Purification of H_2SO_4 of pickling bath contaminated by $\text{Fe}(\text{II})$ ions using electro dialysis process. *Energy Proc.*, 74, 1418 – 1433.
- [10] Guikuan, Y., Liming, Z., Oscar, G. O., Edouard, A. (2014). Speciation of the $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-Fe}_2(\text{SO}_4)_3\text{-FeSO}_4\text{-H}_2\text{O}$ system and development of an expression to predict the redox potential of the $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ couple up to 150 °C. *Hydrometallurgy*, 196–209. DOI: 10.1016 / j.hydromet.2014.05.008
- [11] Kwon, M.J., Boyanov, M.I., Antonopoulos, D.A., Brulc, J.M., Johnston, E.R., Skinner, K.A. (2014). Effects of dissimilatory sulfate reduction on Fe-III (hydr)oxide reduction and microbial community development. *Geochim Cosmochim Acta*, 129, 177–190.
- [12] Hongmin, W., Manman, L. (2016). Application and Progress of Chemical Iron Sludge. *J. Chem. Pharm. Res.*, 8(7), 98-103. www.jocpr.com.
- [13] Feng, X, Jiang, L., Song, Y. (2016). Titanium white sulfuric acid concentration by direct contact membrane distillation. *Chem. Eng. J.*, 285, 101–111.
- [14] Zhang, L. Q., Liu, X. F., Wang, Y. J. (2011). Environmental Protection of Chemical Industry, *J. Chem. Pharm. Res.*, 31(03), 244-247.
- [15] Heyden, B.P., Roychoudhury, A.N. (2015). Application, Chemical Interaction and Fate of Iron Minerals in Polluted Sediment and Soils. *Cur Pollution*, 1, 265–279. <https://doi.org/10.1007/s40726-015-0020-2>
- [16] Akcil, A, Erust, C, Ozdemiroglu, S, Fonti, V, Beolchini, F. (2015). A review of approaches and techniques used in aquatic contaminated sediments: metal removal and stabilization by chemical and biotechnological processes. *J. Clean Prod.*, 86, 24–36.
- [17] Mun, A. (1981). Influence of aging conditions on water content in pelletized metal hydroxides. *Integr. use of mineral raw mat.*, 12, 29–32.
- [18] Barsukova, H. (2014). [Peculiarities of stages of washing and settling of sediment from iron oxides-hydroxides (OHF)]. *Ufa*, 3, 26–28 (in Ukrainian).
- [19] Chernysh, Y., Balintova, M., Plyatsuk, L., Holub, M., Demcak, S. (2018). [The Influence of Phosphogypsum Addition on Phosphorus Release in Biochemical Treatment of Sewage Sludge]. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 1-14 (in Ukrainian). doi:10.3390/ijerph15061269.
- [20] Sannikov, A. (1976). [The study of some processes formation of iron oxide and hydroxide (III) in relation to the technology for the production of iron oxide pigments]. *UPI: Theses*, 3(1), 86-87 (in Russian).
- [21] Balintova, M., Demcak, S., Holub, M., Hurakova, M. (2016). Study of Precipitates from Mine Water after Defrosting and Oxidation. *Solid State Phenom*, 234–239.
- [22] Kunda, W. (1981). Production of magnetite from ferrous salt solutions. *USA Patent No. 1111230*.
- [23] National Center for Biotechnology Information (2020). *Summary PubChem Compound for CID 6097028, Ammonium Sulfate*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ammonium-sulfate>.
- [24] Ali, A., Zafar, H., Zia, M., Haq, I., Phull, A. R., Ali, J. S., Hussain, A. (2016). Synthesis, characterization, applications, and challenges of iron oxide nanoparticles. *Nanotechnol. Sci. Appl.*, 9, 49–67. doi: 10.2147/NSA.S99986.
- [25] Mohapatra, M., Anand, S. (2010). Synthesis and applications of nano-structured iron oxides/hydroxides – a review. *Int. J. Eng., Sci. and Tech.*, 2 (8), 127–146.
- [26] Babay, S., Mhiri, T., Toumi, M. (2015) Synthesis, structural and spectroscopic characterizations of maghemite $\text{g-Fe}_2\text{O}_3$ prepared by one-step coprecipitation route. *J. Mol. Struct.* 1085, 286-293. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2014.12.067>
- [27] Campos, E. A., Stockler Pinto, D. V., Sampaio de Oliveira, J. I., Mattos, E. de C., Lazzarini Dutra, R. de C. (2015). Synthesis, Characterization and Applications of Iron Oxide Nanoparticles – a Short Review. *J. Aerosp. Technol. Manag., São José dos Campos*, 7 (3), 267–276. <https://doi.org/10.5028/jatm.v7i3.471>.
- [28] National standard of the Russian Federation. (2008). *[Iron ores, concentrates, agglomerates and pellets]*. (GOST 23581.0-2008). Moscow, Russian Federation: General requirements for chemical analysis methods (in Russian).
- [29] Interstate standard of the USSR. (1974). *[Methods for the determination of sulfates]*. (GOST 10671.5-1974). USSR: Izdatelstvo standartov (in Russian).
- [30] Interstate standard of the USSR. (2016). *[Methods for determination of nitrogen compounds impurity general]*. (GOST 10671.4-2016). USSR: Izdatelstvo standartov (in Russian).
- [31] Ahmed, M. J., Roy, U. K. (2009). A simple spectrophotometric method for the determination of iron(II) aqueous solutions. *Turk J. Chem*, 33, 709 – 726. <https://doi.org/10.3906/kim-0802-9>.
- [32] Karpovich, E.A., Zarechenny, V.G. (2001). [Involvement in the production of fertilizers of acidic iron sulfate]. *Shchelkino*, 2, 396-397. (in Russian).
- [33] State standards of the USSR. (1978). *[Ferrous (II) sulphate 7-aqueous. Specifications]*. (GOST 4148-1978). USSR: Izdatelstvo standartov (in Russian).