

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГРАНУЛЯЦІЇ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ З ВИКОРИСТАННЯМ РІЗНИХ ВОДОПОГЛІНАЮЧИХ ДОМШОК

Г. В. Барсукова

Сумський державний університет
вул. Р. Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна. E-mail: rodik-1983@mail.ru

С. В. Вакал, Е. О. Карпович

ДП «Сумський державний науково-дослідний інститут мінеральних добрив та пігментів - «МінДіП»
м. Суми, п/с – 12, Україна. E-mail: vacal@mail.ru

В даній статті висвітлена проблема утворення та знешкодження відходів хімічної промисловості. Запропоновано радикальне технічне рішення щодо утилізації накопиченого багатотонажного залізного купоросу на суміш тонкодисперсних оксидів-гідроксидів заліза(ОГЗ) на ПАТ «Сумхімпром». Обґрунтована доцільність використання ОГЗ в якості водопоглинаючої добавки до вологого концентрату залісної руди перед грануляцією. Наведені результати тестових дослідів, в яких досліджуються процеси грануляції, сушіння, термопідготовки та прогартовування залізорудної сировини Полтавського ГЗК без пластифікованої добавки, з добавкою 0,8% бетоніту і з добавкою 1% ОГЗ. З'ясовано, що бетоніт в якості добавки знижує концентрацію заліза у руді, а добавка з ОГЗ - підвищує. Знайдено вміст заліза ОГЗ, який становить 55-62%, що задовольняє вимогам металургії. Визначено, що обпалені окатиші з добавкою з ОГЗ мають вміст загального заліза відповідний складу обпалених окатишів Полтавського ГЗК.

Ключові слова: концентрат, бетоніт, оксиди-гідроксиди заліза(ОГЗ), грануляція.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГРАНУЛЯЦИИ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗНЫХ ВОДОПОГЛОЩАЮЩИХ ДОБАВОК

А. В. Барсукова

Сумский государственный университет
ул. Р. Корсакова, 2, г. Сумы, 40007, Украина. E-mail: rodik-1983@mail.ru

С. В. Вакал, Э. А. Карпович

ГП «Сумский государственный научно-исследовательский институт минеральных удобрений и пигментов - «МинДиП»

г. Сумы, п/я – 12, Украина. E-mail: vacal@mail.ru

В данной статье освещена проблема образования и обезвреживания отходов химической промышленности. Предложено радикальное техническое решение по утилизации накопленного многотоннажного железного купороса на смесь тонкодисперсных оксидов-гидроксидов железа (ОГЖ) на ПАТ «Сумыхимпром». Обоснована целесообразность использования ОГЖ в качестве водопоглощающей добавки к влажному концентрату железной руды перед грануляцией. Приведены результаты тестовых опытов, в которых исследуются процессы грануляции, сушки, термоподготовки и проковки железорудного сырья Полтавского ГОКа без пластифицированной добавки, с добавкой 0,8% бетонита и с добавкой 1% ОГЖ. Выяснено, что бетонит в качестве добавки снижает концентрацию железа в руде, а добавка с ОГЖ - наоборот повышает. Найдено содержание железа ОГЖ, которое составляет 55-62%, что удовлетворяет требованиям металлургии. Определено, что обожженные окатыши с добавкой из ОГЖ имеют содержание общего железа, соответствующий составу обожженных окатышей Полтавского ГОКа.

Ключевые слова: концентрат, бетонит, оксиды-гидроксиды железа(ОГЖ), грануляция.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Основним джерелом утворення відходів в Сумській області є підприємство хімічної промисловості ПАТ «Сумхімпром». При виробництві пігментного двооксиду титану формується багатотоннажний твердий відхід на основі сульфату заліза. На території ПАТ «Сумхімпром» накопичилося близько 1,5 млн. т залізного купоросу[1]. Зазначений відвал має масштаби техногенного родовища, однак він не переробляється через відсутність прийнятної технології[2].

Сьогодні існує радикальне рішення проблеми, яке дозволяє масштабно залучити відхід до утилізації[3]. Дана технологія передбачає переробку залізного купоросу на суміш оксидів заліза Fe_xO_y для металургії та розчин сульфату амонію для отримання мінерального добрива[4].

На багатьох гірничозбагачувальних комбінатах (Михайлівський ГЗК Курської області, ЕМК м. Старий Оскіл, Полтавський ГЗК м. Комсомольськ) після мокрого розмелу та магнітної сепарації утворюється вологий залізорудний концентрат, який гранулюють, сушать, обпалюють, а потім передають в доменне виробництво[5].

Особливістю стадії грануляції є використання набухаючих глин типу бетоніту при підготованні вологого концентрату до грануляції. На Михайлівському ГЗК застосовують келавейську глину. На Полтавському ГЗК і на П.Криворізькому ГЗК використовують різного роду бетоніти. Додавання глини або бетоніту до вологого концентрату дає забирання частини вільної вологи, цим і забезпечується оптимальність вологого

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

режиму грануляції та цим бетоніт сприяє зміцненню сирих гранул.

Бетоніт, по своїй хімічній сутності, є інертним розріджувачем концентрату. Навіть додавання 1% бетоніту знижує концентрацію заліза на 0,5%. Особливо це небажано для Полтавського ГЗК, де якість концентрату дещо гірше якості концентрату російських виробників. Для покращення якості концентрату на цьому підприємстві доводиться сильно подрібнювати вихідну руду, що приводить до отримання більш вологого осаду на стадії фільтрації. Тому на цьому підприємстві в деяких випадках змушені до сировини додавати окрім бетоніту сухий торф для зв'язування вільної вологи перед грануляцією.

Метою розроблюваної технології є використання сухої суміші з тонкодисперсних оксидів заліза(ТОЗ) в якості водовбирної добавки, отриманої з відходу пігментного виробництва. У цьому випадку на всіх стадіях агломерації в залізорудний концентрат вводиться не інертний матеріал - бетоніт, а залізовмісна добавка. У складі планованої добавки ТОЗ вміст заліза буде не меншим, ніж і в концентраті.

Очікуваний випуск оксидів заліза може задовольняти потреби однієї агломераційної установки ОК-108, продуктивність якої по окатишам 0,7-0,8 млн т/р на МК «Азовсталь». Як показав аналіз складу сировини, який використовують на цій аглофабриці, отриманий в лабораторних умовах продукт задовольняє основним вимогам ТУ АДЖ-01-97 Аглодобавка «Азовсталь. Така аглодобавка містить в перерахунку на суху речовину не менше 55% Fe_{заг.} У зв'язку з цим для готових вже обпалених окатишів концентрату буде характерно завищений вміст заліза[5].

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Виходячи із основних особливостей технології агломерації і технічних можливостей лабораторної бази ДП «СД НДІ МінДіП», була розроблена наступна послідовність проведення експериментів.

В якості еталону було досліджено типові зразки залізорудного концентрату Полтавського ГЗК та Центрального ГЗК м. Кривий Ріг.

Вологий зразок концентрату було висушено за кімнатних умов та після такої підготовки використано у наступних дослідженнях. Після проведення лабораторних досліджень з еталонним зразком було виявлено його основні характеристики.

Основні характеристики висушеного залізорудного концентрату:

а) хімічний склад концентрату: Fe_{заг.} – 60,95%; Fe²⁺ – 3,9%; Cr – 0,0005%; Mn – 0,058%; SiO₂ – 8,4%; CaO – не знайдено; MgO – не знайдено; Al₂O₃ – 0,09%; TiO₂ – сліди; п.п.п. – 7,8%.

б) дисперсний склад концентрату наведений у таблиці 1.

Насипна вага концентрату 2150 кг/м³.

Для експериментальної частини роботи використовувалась висушена суміш оксидів-

гідроксидів заліза(ОГЗ), отримана у ході відпрацювання попередніх елементів технології.

Таблиця 1 – Дисперсний склад концентрату

Масова доля, %	Розмір частинок, мм
Відсутня	> 0, 5
1,9	Від 0,2 до 0,5
0,4	Від 0,125 до 0,2
4,4	Від 0,063 до 0,125
3,8	Від 0,045 до 0,063
89,5	< 0,045

Хімічний склад ОГЗ:

Fe_{заг.} – 60,9 %; Fe²⁺ – 20,7 %; Cr – 0,11 %; Mn – 0,53 %; SiO₂ – сліди; CaO – не знайдено; MgO – не знайдено; Al₂O₃ – 0,55 %; TiO₂ – 5,8; п.п.п. – 7,75 %; SO₃ – 0,4%.

Дисперсний склад ОГЗ:

Масова доля часток розміром: менше 0,045 мм – 100%. Насипна маса ОГЗ – 810 кг/м³.

Для моделювання процесу агломерації із домішкою бетоніту використовували зразок «Порошок модифікований формувальний» марки П1Т2. ДСТ 28177-89.

Масова частка обмінних катіонів, мг, екв/100 г сухої глини – 51-53; масова частка карбонатів у перерахунку на CaCO₃, % - не знайдено; масова частка сульфідної сірки, % - 0,04; масова частка заліза у перерахунку на Fe₂O₃, % - 8; колоїдність, % - 13,5; водопоглинення, од. – 1,5; масова частка вологи, % - 9; залишок на ситі 0,4 мм – не більше 3; залишок на ситі 0,16 мм – не більше 10.

Наважку концентрату масою 300-500 г (достатню для об'єму для процесу грануляції) зволожили водою до 10%, що характерно для типового стану в промислових умовах. До зволоженої наважки додавали додатковий компонент і суміш ретельно перемішували. Шихту гранулювали. Процес грануляції проводили таким чином, щоб формувалися макрогранули розміром 9-15 мм. Формувати гранули більшого розміру недоцільно, насамперед тому, що на модельній установці умови формування великих гранул такі, що властивості отриманих окатишів не будуть адекватні навіть наближено до властивостей окатишів, отриманих у промисловому окомкувачі. При необхідності в процесі гранулювання для досягнення гранульованої маси додавали воду. Фактичне значення масової частки води у вологих гранулах знаходилося в межах 11-24%.

У результаті тривалих попередніх випробувань при недопустимості значного впливу на режим вологості гранулоутворення, був вироблений наступний підхід до реалізації процесу отримання великих гранул.

На тарілку гранулятора вантажиться спочатку приблизно половина шихти. Гранулятор включається в режим попередньої роботи. Після утворення первинних зародкових гранул розміром 5-7 мм, шихта з тарілки гранулятора вилучається. Відсіваються зародки макрогранул. Далі зародки

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

повертають у гранулятор і поступово в ході його роботи в зону грануляції вводять невеликими порціями залишки підсушений шихти. При такій реалізації грануляції візуально ведеться спостереження за тим, щоб матеріал, котрий підсипають, повністю асимілювався макрогранулами і при цьому не виникало нових зародків гранул. Після закінчення грануляції гранулят просівали через сито з круглими отворами діаметром 10 мм. Контрольне сито з отворами 20 мм не використовувалось, оскільки в модельному грануляторі до таких розмірів окатиші виростити неможливо. До моменту завершення грануляції готувалися два муфеля. Один муфель налаштовувався на підтримку температури 450 °С, а інший муфель - на 950 °С.

Вологі гранули вкладалися в один шар на металевий піддон і потім поміщалися в низькотемпературний муфель. Після перебування окатишів в низькотемпературному муфелі протягом часу, обумовленому експериментом, їх перевантажували в нагрітий до 950 °С високотемпературний муфель. Гранули витягували і охолоджували після перебування їх у вказаному муфелі протягом 0,5 -1 години. Враховуючи особливості експлуатації високотемпературної печі з підігрівниками з хроміту лантану моделювання випалу окатишів здійснювалося наступним чином.

Порції (25-30 шт.) окатишів, які були раніше приготовлені і обпалені, поміщалися в платинові тиглі, що встановлювалися в холодну високотемпературну піч. Одночасно встановлювалися 4 тигля із зразками, приготовленими за різними рецептурами. Після включення печі в роботу протягом 6 годин температура в ній досягала 1300-1330 °С. Після підтримки такої температури в печі протягом години її вимикали. Піч холонула одночасно із зразками окатишів. Через 2 години температура в печі склала 900 °С. Після закінчення охолодження печі (згідно з вимогами паспорта до 40 °С) тиглі з окатишами витягувалися і передавалися на наступне вивчення для виявлення зв'язку відмінностей їх якісних показників від особливостей приготування шихти.

Отриманні окатиші обов'язково перевіряли на міцність: вологі гранули розміром 9-10 мм скидали на керамічну плиту з висоти 0,3 м і 0,2 м. З висоти 0,3 м вологі гранули витримували 1-2 скидання. Відмінностей за цим показником між окатишами, виготовленими за різними рецептурами, не виявилось. Тому далі оцінювали їх міцність при скиданні з висоти 0,2 м, що практикується низкою зарубіжних фірм. У цьому випадку виявлена підвищена міцність гранул, приготованих за рецептурою із застосуванням добавок до руди.

Зазначимо, що характер руйнування найчастіше мав вигляд відколу сферичної "шкаралупи" товщиною до 1-1,5 мм від окатишу, котрий знаходиться в ядрі гранули-зародка. Підсушені і попередньо прожарені окатиші молили при нанесенні риси по щільному картону.

Після завершення стадії сушіння при 450 °С також випробовувалася частина окатишів на міцність. В цьому випадку скидання робилося з висоти 0,3 м та 1 м. Окатиші, які пройшли попередню термообробку, скидали з висоти 1 м. Для останньої серії в межах одного зразка виявлені значні відмінності щодо опору окатишів до руйнування. Аналіз структури зруйнованих гранул показав, що найбільшою міцністю володіли ті окатиші, у яких менш чітко проявляються відмінності макрозародку окатишу і його основної маси.

Під час знаходження окатишів у муфелі важливо враховувати наявність такого явища як температурний «шок».

При вивченні явища температурного "шоку" вологі окатиші по 10 шт. поміщали в муфель на металевому піддоні, розігріті до певної температури. Зразки витримувалися там 30 хв. і розглядалися на предмет їх руйнування. Визначалося кількість зруйнованих гранул і характер руйнування. Зважуванням визначалися маса уцілілих гранул і маса зруйнованих гранул або відколів з гранул. За умовну температуру "термошоку" брали температуру, при якій руйнується більше 10% гранул.

Виявлено, що для окатишів на основі залізорудного концентрату проблема температурного шоку в області температур до 950 °С не була актуальною. Навіть елементи цього явища (тріщини, відколи) візуально не виявлялися. Частка продуктів руйнування для зазначених зразків при повному циклі попередньої термообробки не перевищувала 2%.

У той же час при вміщенні на сушку в муфель, розігрітий до 450 °С окатишів, приготованих з ОГЗ відзначено, що при установці піддону з сирими гранулами в розігрітий муфель відбувається відшарування матеріалу в зоні контакту гранули і піддону. Розміри відшарування приблизно в діаметрі до 3 мм і товщиною до 0,5 мм. Основна маса окатишів з ОГЗ не зазнавала великомасштабних руйнувань, але видимі тріщини на гранулах легко помітні. Дефект маси окатишів з ОГЗ при повному циклі попередньої термообробки не перевищив значення, зафіксованого у окатишів на основі залізорудного концентрату.

Дослідами доведено, що температура "термошоку" у окатишів, які приготовлені за різними рецептурами на основі руди для сирих гранул, вище 450 °С. При надходженні гарячих окатишів з температурою 450 °С в муфель та з температурою 950 °С явище "шоку" не відзначається.

У той же час при поміщенні сирих гранул безпосередньо в муфель з температурою 950 °С явище "термошоку" відсутнє, так як 30-50% окатишів руйнується від внутрішнього тиску парів води при швидкому їх нагріванні. Оскільки зона "термошоку" знаходиться в інтервалі температур від 450 °С до 950 °С проведено випробування нагріву сирих окатишів в усьому вказаному інтервалі температур.

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

Таким чином, температура "термошоку" для вологих окатишів на основі руди лежить в області 800-950 °С. Принципових відмінностей у характері руйнувань окатишів, приготованих на основі руди за різними рецептурами, не виявлено.

Зазначимо, що явні елементи "термошоку" для окатишів ОГЗ проявлялися при температурі 450 °С. Огляд окатишів, прогрітих до 450 °С, показав, що на майданчику контакту окатишу з піддоном є скол, а самі окатиші мають відкриті тріщини, хоча випадків повного руйнування окатишів не зафіксовано. При подальшій попередній термообробці при 950 °С не виявлено розвитку дефектів окатишів і їх руйнування. У ході випалу окатишів в тунельної печі при 1300-1320 °С відзначено "заліковування" тріщин, що виникли на стадії сушіння.

Одиничний прояв елемента "термошоку" відзначено на стадії прогартування. Так, при завантаженні холодних окатишів в гарячу трубчасту піч було зафіксовано один випадок, коли з'явилася тріщина на окатиші. У момент завантаження зазначеного окатишу був відзначений тріск. Тріщина, яка з'явилася, не викликала руйнування випалювального окатишу.

Прогартування частини окатишів проводилося в трубчастій печі діаметром 25 мм, через яку гранули просувалися один за одним у такому темпі, щоб в серединній високотемпературній частині печі вони перебували 30 хв. У даній зоні температура підтримувалася в межах 1300-1310 °С. Після такого прогартування гранули були чорного кольору зі сталевим відтінком. Поверхня гранул не змінювалася. Обпалені гранули (окатиші) мають високу міцність і пружність. При скиданні 20 разів з висоти 2 м руйнувань не зафіксовано. Після удару об керамічну плиту окатиш випробовуваного розміру (близько 3 г) підсакає на висоту 0,8-1 м.

При сушці і попередній термообробці окатиші на основі залізородного концентрату мали незначні зміни, причому ці зміни були ідентичні.

У той же час окатиші, приготовані безпосередньо з ОГЗ, в ході експериментів показали помітні відмінності з ряду властивостей. Зокрема, окатиші приготовані на основі рудного концентрату, практично не змінювали свого забарвлення в ході термообробки. На противагу цьому окатиші ОГЗ чорні в сирому стані після сушіння і прогріву при 450 °С набували цегельний колір, далі при 600 °С вони ставали темно-бурими, а при 700 °С чорними з бурим відтінком. Після попередньої термообробки при 950 °С окатиші з ОГЗ придбали чорний колір без відтінків.

Слід зазначити, що сильні магнітні властивості окатишів з ОГЗ істотно знизилися у зразків термооброблених при 700 °С і вище. Для окатишів на основі залізної руди зниження магнітних властивостей характерно для зразків термооброблених при 800 °С і вище. Цей факт можна пояснити зниженням частки магнетиту в зразках і підвищенням частки геміту.

Окатиші, прожарені в трубчастій печі, що не були деформовані, мали форму, близьку до кулястої. У той же час окатиші, обпалені в тунельній печі, в

значній мірі спеклися між собою в зонах контакту. Вилучення таких окатишів з платинових тиглів було скрутним. Спостерігалось явне «заліковування» тріщин на окатишах з ОГЗ.

У окатишах, обпалених при температурах 950 і 1300 °С, виявилось неможливим оцінити вміст заліза за раніше вживаною методикою. Розчинення в соляній кислоті розтертих проб обпалених гранул було тривалим і неповним. Помилка в оцінці вмісту заліза перевищувала 20%.

У обпалених окатишах зміст $Fe_{\text{заг}}$ становило:

- окатиші з руди - 61,0%;
- окатиші руда + 0,8% бетоніту - 60,9%;
- окатиші руда + 1,5 ОГЗ - 61,2%;
- окатиші з ОГЗ - 62,7%.

Таким чином, продукти, отримані на основі ОГЗ, за своїми основними показниками задовольняють вимогам до сировини для виробництва чорних металів.

ВИСНОВКИ.

1. При проведенні зіставних досліджень гранулювання залізородної сировини Полтавського ГЗК без пластифікованої добавки, з добавкою бетоніту 0,8% і з добавкою 1% ОГЗ, отриманого із залізного купоросу, принципових відмінностей фізико-механічних властивостей сирих, сухих і обпалених окатишів в межах точності прийнятих методів їх оцінки не виявлено.

2. Встановлено, що сирі гранули з ОГЗ мають механічний опір до руйнування методом скидання більш високий, ніж гранули, отримані на основі залізородного концентрату.

3. Механічна руйнація попередньо термооброблених окатишів мало залежить від рецептури їх приготування, а більше пов'язана з внутрішньою структурою (однорідністю) окатишу.

4. Встановлено, що у всіх серіях дослідів температура «термошоку» гранул на основі залізної руди вище 800 °С.

5. Надходження окатишів, виготовлених безпосередньо з ОГЗ, в зону температур 450 °С супроводжується проявом елементів «термошоку», не приводить до руйнування гранул як при сушінні, так і при подальшій попередній термообробці і випалюванні. Температура «термошоку» для окатишів з ОГЗ знаходиться в області вище 500 °С.

6. Аналіз обпалених агломератів підтвердив очікуване поліпшення готового агломерату за вмістом заліза у випадку застосування ОГЗ в якості пластифікатора руди при реалізації процесу окомкування.

7. Встановлено, що обпалені окатиші з добавкою ОГЗ мають вміст $Fe_{\text{заг}}$ - 55-62%, відповідний складу обпалених окатишів Полтавського ГЗК.

ЛІТЕРАТУРА

1. Потенциальная опасность отхода производства пигментной двуокиси титана и пути его обезвреживания: Сборник научных трудов XVIII Международной заочной научно-практической конференции, 20 февраля. 2013 г., Новосибирск

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

/Технические науки - от теории к практике.- Новосибирск: СибАК, 2013.- С. 178-180.

2. Соколов И.Д. Пути переработки сернокислого железа.- Черкассы: ПО НИИ ТЕХИМ, Всес. н.-и. и прокт.институт металлургии, 1976.- 19 с.

3. Карпович Э.А., Вакал С.В. Разработка технологии утилизации закисленного железного купороса и установка для ее реализации // Научно-производственный журнал «Экология и промышленность».- Харьков: Укр НТЦ «Энергосталь», 2005.- Вып. 4.- С. 61-65.

4. Вовлечение в производство удобрений кислого железного купороса: Сборник научных трудов IX Международной научно-практической конференции, 5 июня. 2001 г., Щелкино/ Казантип-ЭКО-2001.- Щелкино: ГП «Укр НТЦ «Энергосталь», 2001.- С. 396-397.

5. Виробництво офлюсованого доменного агломерату / Технологічна інструкція // ТІ – 227 – ОА - 01-98.- С. 24.

RESEARCH OF GRANULATION OF IRON ORE USING A VARIETY OF WATER-ABSORBING IMPURITIES

A. Barsukova

Sumy State University

vul. R. Korsakov, 2, Sumy, 40007, Ukraine. E-mail: rodik-1983@mail.ru

S. Vakal, E. Karpovich

Sumy State Scientific-Research Institute of Mineral Fertilizers and Pigments (Gos NII MINDIP)

Sumy, p/s - 12, Ukraine. E-mail: vacal@mail.ru

Raised the issue of the problem of the formation and removal of chemical waste in this article. Proposed a radical solution for disposal of accumulated tonnage of ferrous sulphate on a mixture of fine iron oxides-hydroxides(PDO) by PJSC "Sumykhimprom". Substantiated the expediency of using PDO as a water absorbing impurities in wet iron ore concentrate before granulation. Presented results of test studies in which researched granulation, drying, thermal preparation and calcination of iron ore Poltava Mining without plasticizing impurities, with the impurities of 0.8% Concreteyls and with the impurities of 1% PDO. It was found that Concreteyly as an additive reduces the concentration of iron of ore, and impurities with PDO - increases. Found iron content PDO, which is 55-62%, which meets the requirements of metallurgy. Determined that the baked pellets are with the addition of PDO have general iron content appropriate composition baked pellets Poltava Mining.

Key words: a concentrate, Concreteyly, oxides-hydroxides of iron (PDO), granulation.

REFERENCES

1. Barsukova, A., Vakal, S. (2013), «Potential hazard of pigment titanium dioxide production wastes and ways of its neutralization», *Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike. Sbornik nauchnyh trydov XVIII Mezhdynarodnoi zaochnoi nauchno-prakticheskoi konferensii*.

[Engineering - From Theory to Practice. Conference Proceedings of the 18th International conference], Novosibirsk, SibAK, February 20, 2013, p.p. 178-180.

2. Sokolov I. (1976), *Puti pererabotki sernokislogo zheleza* [Ways recycling of ferrous sulphate], Department Industrial Association SRI TEHIM, Union Scientific-Research and Design institute of Metallurgy, Cherkasy, Ukraine.

3. Karpovich E.O., Vacal S.V. (2005), «Development of technology for recycling of ferrous sulfate acid and installation for its implementation», *Scientific and industrial magazine "Ecology and Industry"*, vol. 4, pp. 61-65, Kharkov, Ukraine.

4. Karpovich E. (2001), «Attracting in the production of fertilizer of acidic iron sulphate», *Kazantip-EKO-2001. Sbornik nauchnyh trydov IX Mezhdynarodnoi nauchno-prakticheskoi konferensii*. [Kazantip-ECO-2001. Conference Proceedings of the 9th International conference], Shelkino, UkrSTC «Energostal», June 5, 2001, p.p. 396-397.

5. The production of fluxing sinter domain / Technological Instruction // TI - 227 - OA - 01-98.- S. 24.