

© І.М. Чеберячко¹, Є.О. Кириченко¹, Ю.І. Чеберячко¹, О.П. Трофимова¹, О.О. Шустов¹
¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ У ВИХРОВІЙ УСТАНОВЦІ СУШІННЯ, ДОПОДРІБНЕННЯ ТА ВИДАЛЕННЯ ІЗ ЗАЛІЗНОГО СУРИКУ ХЛОРОВМІСНИХ ДОМІШОК

© I. Cheberiachko¹, Ye. Kyrychenko¹, Yu. Cheberiachko¹, O. Trofymova¹, O. Shustov¹
¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

RESEARCH IN THE VORTEX INSTALLATION DRYING, GRINDING AND REMOVAL OF CHLORINE-CONTAINING IMPURITIES FROM IRON OXIDE

Мета. Підвищення якості залізного сурику шляхом його доподрібнення та видалення з нього хлоровмісних домішок. Розробка технологічної схеми для вирішення цих питань з використанням вихрових апаратів та визначення оптимальних параметрів її роботи.

Методика дослідження полягає у аналізі показників якості, отриманих на експериментальній установці в якій використовуються закручені потоки для до подрібнення та нагріву концентрату до 350-250 °С з його витримкою в бункері 1,5-2,0 години.

Результати дослідження. На експериментальній установці отримані оптимальні параметри її роботи, які дають можливість визначити механізм переміщення вологи всередині частинок концентрату і її випаровування та видалення з нього в навколишнє середовище шкідливих домішок. Представлені результати поєднання операцій здрібнення твердої фази та її сушки у вихровому потоці з наступною витримкою залізного сурику в бункері при сталих температурах. Графічно представлені результати впливу температури термообробки у вихровому апараті на ступінь видалення хлоровмісних речовин із залізного сурику. Доведено, що у процесі доподрібнення у вихровому апараті при пилоуловлюванні у циклонах готового продукту та витримці його в бункерах при сталій температурі з'являється можливість збереження характерного термодинамічного стану залізного сурика при якому стимулюються масообміни міжфазні процеси при взаємодії часток, що сприяє активному виділенню з нього хлоровмісних домішок. Визначені оптимальні температури та час витримки залізного сурику в бункерах готового продукту, що зменшує в ньому вміст хлоровмісних домішок та покращує його якість.

Наукова новизна. Встановлено залежності ступеню видалення хлоровмісних речовин із залізного сурику від температури термообробки у вихровому апараті.

Практичне значення. Визначено основні робочі параметри сушіння, доподрібнення та параметри процесу, при яких буде проходити активне видалення шкідливих домішок з концентрату сурику, яке дозволить покращити його якість та збільшити асортимент продукції, що випускається.

Ключові слова: вихрова установка, залізний сурик, сушіння, подрібнення, сепарація, збагачення, хлоровмісні речовини, шкідливі домішки.

Вступ. Відомий спосіб видалення хлоровмісних домішок з залізної руди крупністю 20-50 мм багатократно промивають водою та перемішують в період до 7 діб. Цей спосіб дає можливість видалення хлоровмісних домішок з руди на

60-80 %, але він має великі недоліки, такі як, великий період обезхлорування, значні капітальні та експлуатаційні витрати, мала експлуатаційна надійність, особливо в зимовий період, велику інерційність процесу, можливість регулювання якості готового продукту та великі затрати на сушку.

Також відомий спосіб видалення хлоровмісних домішок з концентрату залізної руди шляхом термообробки порошкової руди газоподібними теплоносіями. Цей спосіб дає можливість паралельно до подрібнювати руду та видаляти до 50 % хлоридів при температурі 800 °С, а при 900 °С – до 70 % хлоридів. Таке видалення хлористого натрію з руди можливе в газострумних млинах. В них термообробка руди каталізує процес розкладу солі та видалення з неї газоподібного хлору.

При термообробці в газострумному млині ми маємо спікання частинок руди, яке збільшується в чотири рази при температурі 800 °С. До недоліків цього способу обезхлорування можна віднести також велику енергоємність цього процесу.

Актуальність досліджень. В технологічних процесах гірничо-металургійної, хімічної промисловостей використовують руди чорних та кольорових металів. Характерною особливістю їх є низький в них вміст необхідних для технологічних процесів в цих промисловостей корисних компонентів. У зв'язку з цим значне місце при їх переробці відводиться збагаченню руд.

Так як на даний час більше ніж 90 % руд збагачується мокрим способом, то невід'ємною складовою частиною таких виробництв є обов'язкове сушіння та подрібнення отриманих при збагаченні концентратів.

Сушіння проводиться в барабанних сушарках, це приводить до спікання концентрату та погіршує показники його якості. Для покращення показників якості після його сушки проводиться повторна операція подрібнення, сепарація та видалення з концентрату шкідливих домішок. Наприклад, для залізної руди (залізний сурик) – це хлорорганічні речовини. Відомий спосіб отримання залізного сурику передбачає здійснення технологічних операцій подрібнення та промивання його водою у шаровому млині, а потім прогрів його при температурі 800-900 °С. Це забезпечує видалення з нього шкідливих домішок та покращує показники якості, а потім знову відбувається операція подрібнення.

Такий спосіб отримання залізного сурику характеризується високою енергоємністю цього процесу і супроводжується отриманням великої кількості стічних вод.

Мета і постановка задач. Одним із шляхів зниження собівартості кінцевого продукту при його сушінні, подрібненні та видаленні з нього шкідливих домішок полягає в застосуванні для нього апаратів з активними гідродинамічними режимами які використовують закручені потоки в вихрових апаратах [1-4].

Відмінною особливістю цього апарату є те, що вхідний матеріал з великою швидкістю вводять тангенціально в циліндричну камеру, завдяки чому в ній створюється закручений потік. Тангенціальне введення матеріалу можливе в одній або в декількох точках в нижній частині вихрового апарату з радіусом r_k

буде зайнята вихровим ядром, в якому тангенціальна швидкість буде максимальною і зростає за законом квазі-твердого обертання та описується математичною залежністю виду

$$\frac{v_m}{r} = \omega = const,$$

де: v_T – тангенціальна швидкість потоку, м/с; ω – кутова швидкість потоку, с⁻¹; r – змінний радіус вихрового потоку, м.

На відстані r_k від центру обертання швидкість максимальна, а при подальшому збільшенні радіуса вихрової камери вона починає зменшуватися. Таким чином, статистичний тиск біля стінок камери повинен бути максимальний і монотонно знижуватися до центра так, що в деяких областях статистичний тиск буде рівний нулю.

В цих областях ми будемо мати максимальну швидкість вихрового потоку. Вона буде поблизу стінок вихрової камери і спрямовується до місця виходу з неї. Тому вихід пилогазового потоку необхідно спрямувати не по всій площі вихрової камери, а по кільцю, а в центрі камери утворюються зворотні вихрові потоки, тому там необхідно встановити допоміжний циліндр для зменшення тангенціальної швидкості і пило газového потоку. В цьому випадку вектор результуючої швидкості буде зміщений відносно вектора тангенціальної швидкості, а пило газований потік буде рухатися по кривій логарифмічній спіралі. В такому вихровому потоці пило газовой суміші створюються великі відносні швидкості між частинами матеріалу, що забезпечують їх здрібнення та високі коефіцієнти теплообміну. Такий спосіб до подрібнення, сушки та виділення із залізного сурику хлоровмісних домішок можливий в вихровій установці, що представлена на рис. 1.

Характеристика об'єкта дослідження. Зазначена схема складається з вихрової камери 1 зовнішнього 3 та внутрішнього 2 корпусів, вихрового 4 та гравітаційного 5 класифікаторів, шнекового 6 та секторного 11 живильників, електродвигуна 7, камери горіння 8 та інжекторного вузла 9.

Вихідний матеріал через шнековий 6 та секторний живильник 11 надходить в інжекційний вузол 9, повітря та природний газ по трубопроводам в камеру горіння 8 де підігривається до температури 600-800 °С. Далі потік надходить в інжекційний вузол 9 де змішується з вхідним матеріалом і утворює пилогазову суміш, яка поступає в зону здрібнення та підігріву залізного сурику до температури 350-450 °С. Руйнування частинок та їх підігрів відбувається у вертикальному кільцевому потоці газосуміші який обертається між зовнішнім 3 та внутрішнім корпусом 2, у вихровій камері 1. Частинки залізного сурику обертаються по круговим траєкторіям та рухаються в вертикальному напрямку та надходять в вихровий 4 та інерційний класифікатори 5. Нероздрібнений матеріал, в наслідок зменшення вертикальної швидкості, по трубопроводу 10 надходить через секторний живильник 11 в інжекційний вузол, в якому змішується з вихідним матеріалом та поступає в вихрову камеру для повторного подрібнення та прогріву.

У вихровому потоці інтенсифікується конвективний теплообмін, причому істотна роль його інтенсифікації належить відцентровим силам, тому що в цьому потоці у криволінійному каналі збільшується швидкість потоку і зменшується товщина пристінкового шару.

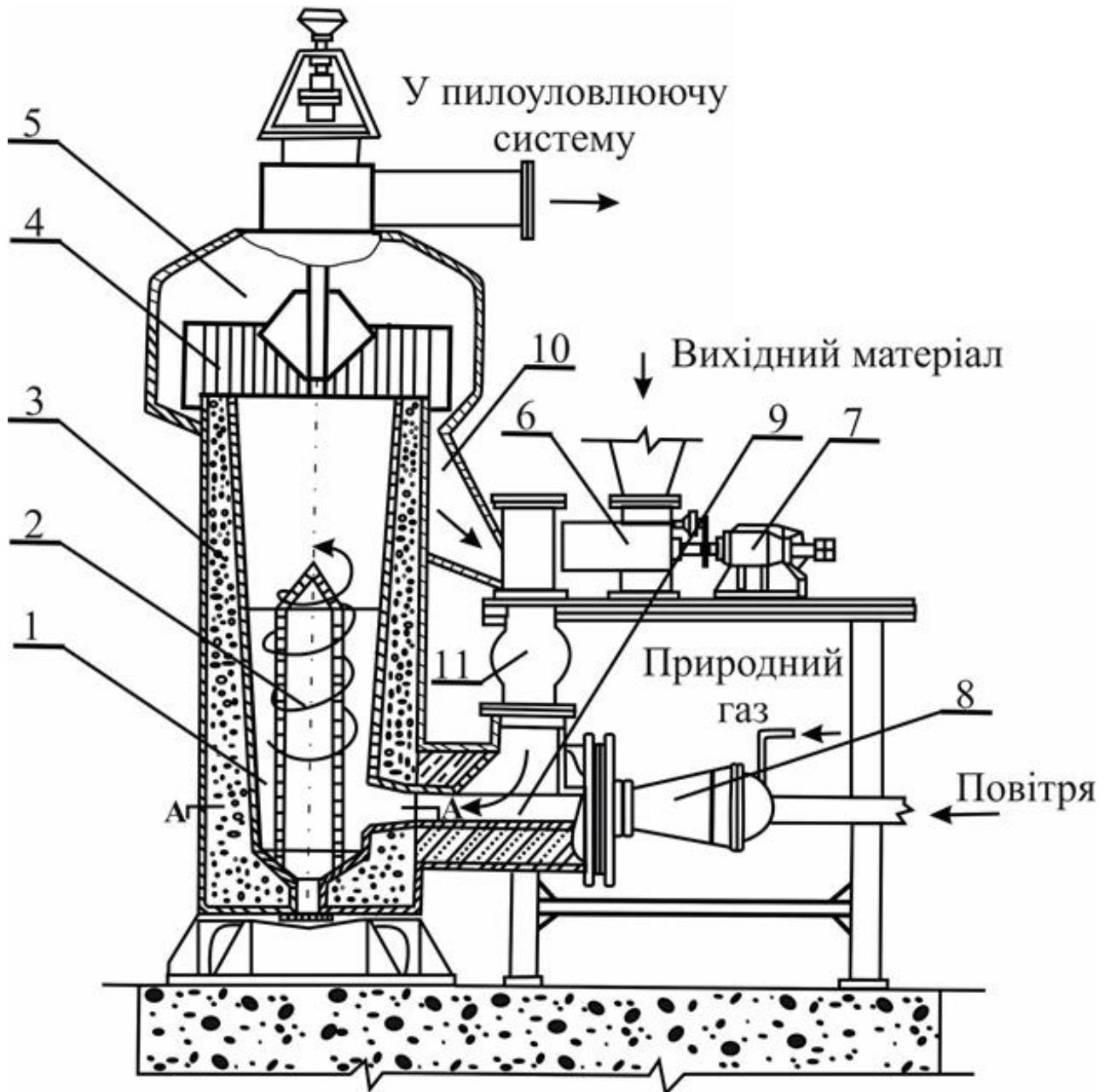


Рис. 1. Загальний вигляд вихрової установки для отримання залізного сурику

Аналіз параметрів процесів вихрової установки для отримання залізного сурику

Метою досліджень цієї експериментальної установки є визначення її основних робочих параметрів сушіння, доподрібнення та параметрів процесу при яких буде проходити активне видалення шкідливих домішок з концентрату (хлорвмісних домішок).

Ступінь обезхлорування сурику визначається за формулою:

$$i = \frac{Cl_{ex} - Cl_{кін}}{Cl_{ex}} 100\%,$$

де: Cl_{ex} – вміст хлору у вхідному продукті; $Cl_{кін}$ – вміст хлору у кінцевому продукті.

Крупність доподрібненого залізного сурику контролювалась інерційним та вихровим класифікаторами. Залишок на ситі становив $R_{60} = 0,14-0,45\%$, кінцева вологість матеріалу $0,14-0,45\%$. Температура енергоносія $600-800^{\circ}\text{C}$. Продуктивність лабораторної установки складала від $2-3$ кг/год, при подачі повітря $30-60$ м³/год.

У процесі доподрібнення у вихровому апараті при пилоуловлюванні у циклонах готового продукту та витримці його в бункерах при сталій температурі з'являється можливість збереження характерного термодинамічного стану залізного сурику при якому стимулюються масообміні міжфазні процеси при взаємодії часток, що сприяє активному виділенню з нього хлоровмісних домішок.

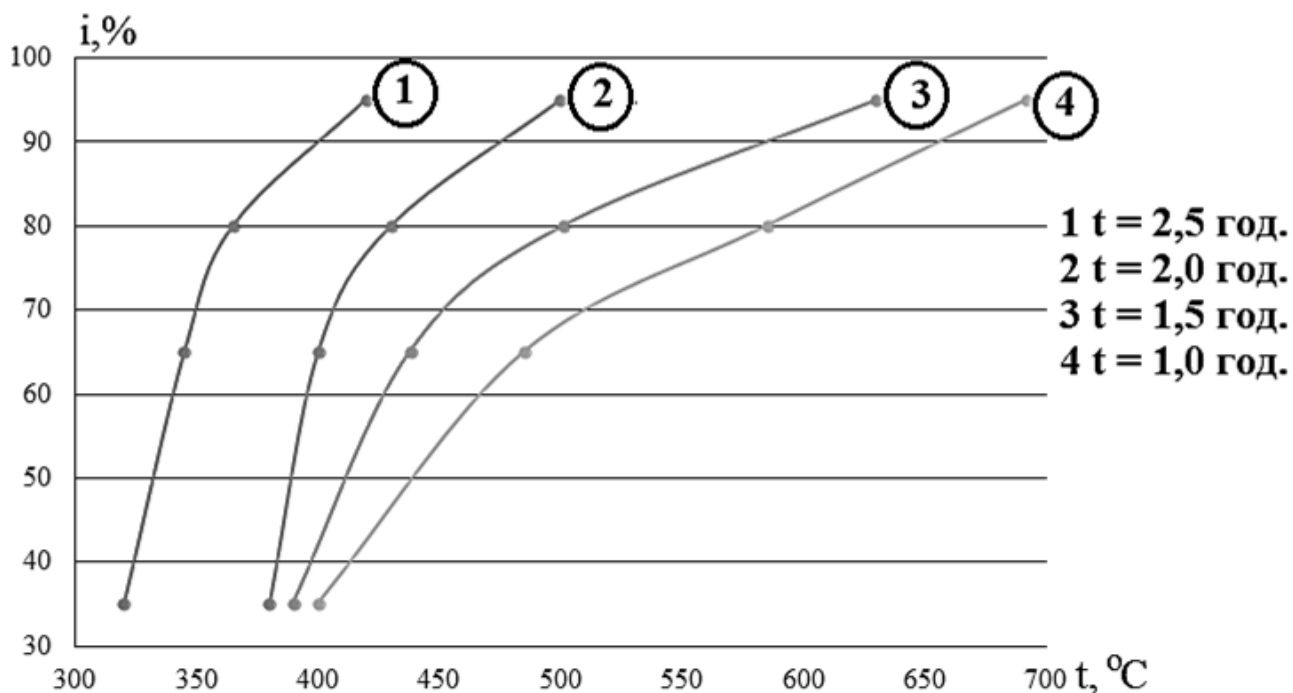


Рис. 2. Вплив температури термообробки залізного сурику на ступінь видалення з нього хлоровмісних речовин: 1 – $t = 2,5$ год; 2 – $t = 2,0$ год; 3 – $t = 1,5$ год; 4 – $t = 1,0$ год

На рис. 2 представлені результати впливу температури термообробки у вихровому апараті на ступінь видалення хлоровмісних речовин із залізного сурику. Отримані дані покажуть що зі збільшенням температури нагріву та витримки його у бункерах готового продукту $1,5-2,5$ години вміст хлоровмісних речовин зменшується.

Уже при температурах нагріву 350-450 °С вміст шкідливих домішок у залізному сурику становить 0,4-0,009 %. Більш детальні дослідження при цих температурах та часі витримки представлені на рис. 3.

Результати поєднання операцій здрібнення твердої фази та її сушки у вихровому потоці з наступною витримкою залізного сурику в бункері при сталих температурах зображено на рис. 3 .

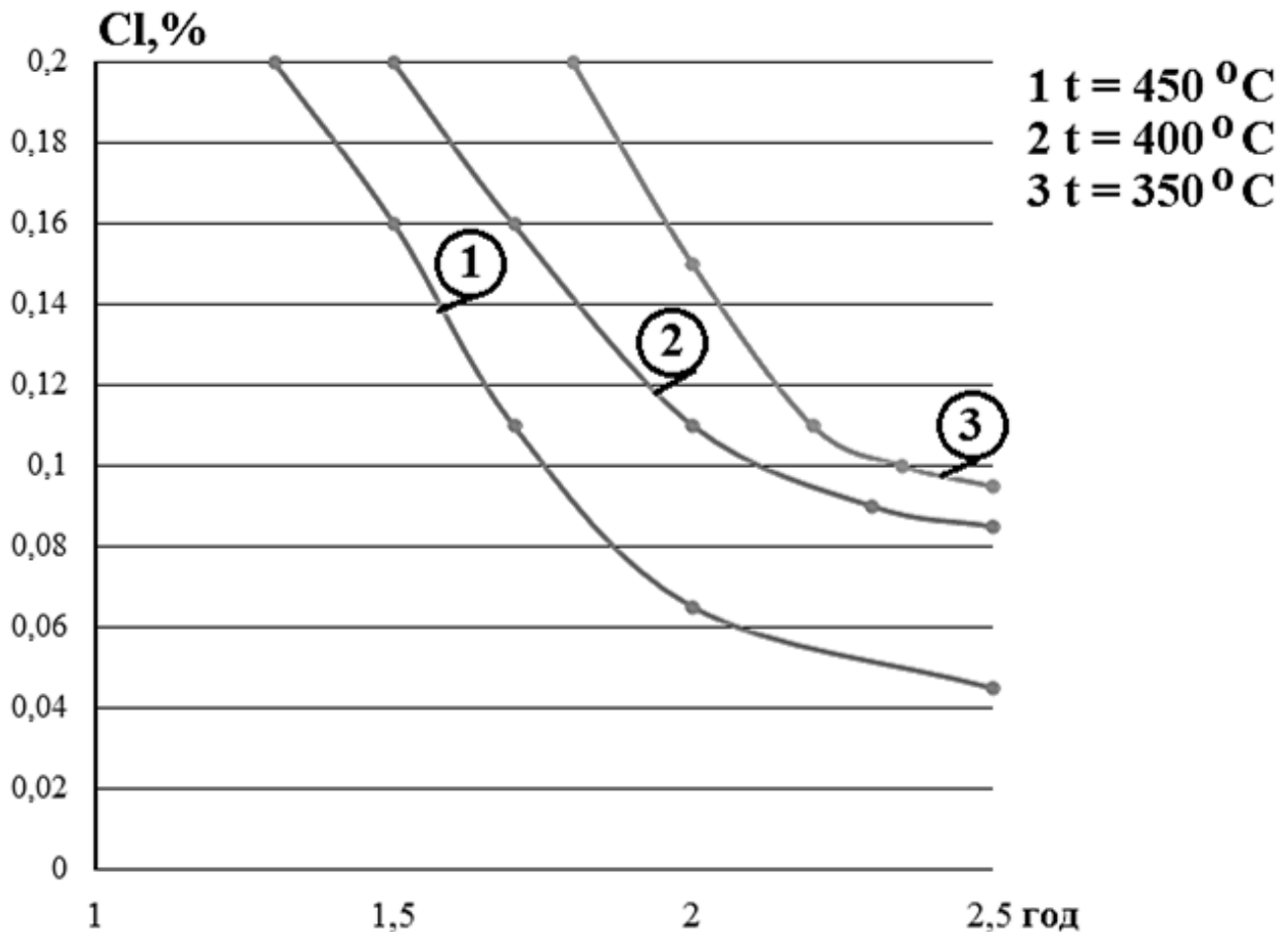


Рис. 3. Видалення хлоровмісних домішок при різних температурах витримки у бункері: 1 – $t = 450$ °С; 2 – $t = 400$ °С; 3 – $t = 350$ °С

Із аналізу отриманих результатів зображених на рис. 3 видно, що залізний сурик при витримці його в бункері при температурах 350-450 °С та часі 1,5-2,5 години дозволить зменшити у ньому хлоровмісної речовини з 0,31 % до 0,1 %, а також знизити вміст шкідливих домішок. Введення в процес отримання цією технологією залізного сурику дозволить покращити його якість та збільшити асортимент продукції, що випускається.

Висновки. Таким чином, в роботі проведено аналіз відомих способів видалення хлоровмісних домішок з залізної руди та представлені результати розробки принципової нової інтенсивної енергозберігаючої технологічної схеми обезхлорування руди, яка включає такі операції: попередні умови подрібнення залізної руди в шарових млинах, а потім низькотемпературну обробку отриманого порошку в вихрових потоках з наступною обробкою в бункері-томильнику.

Відмінністю нової технології є те, що дуже висока питома поверхня теплообміну та малий час нагріву до необхідної температури з необхідним стабільним нагрівом концентрату в бункері-томильнику, а також використанням вихідного енергоносія для підтримки температури в бункерах до 350-400 °С. При такій технології повністю виключається злипання частинок руди та виключається використання води для покращення показників якості залізного сурику. Описана технологія дає змогу отримати залізний сурик, який може бути використаний для захисту зовнішніх металевих, бетонних і дерев'яних поверхонь від атмосферної корозії в хімічній будівельній або гірничій промисловості в якості барвника який має насичений коричнево-червоний відтінок. Застосування способу отримання залізного сурику у вихрових установках дозволить отримувати залізний сурик який характеризується високою достатнім рівнем покривності, а спосіб, за яким він отриманий, - малостадійністю етапів технологічного процесу і відсутністю стічної води.

Перелік посилань

1. Чеберячко, І.М., Дерюгин, В.Г., Чеберячко, Ю.І., & Пустовой Д.С. (2011). Исследование процесса сушки продуктов обогащения в вихревых аппаратах. *Збагачення корисних копалин: Наук.-техн.зб.*, 47(88), 157-160.
2. Чеберячко, І.М., & Дерюгин, В.Г. (2001). Про вплив аеродинамічних параметрів пилегазового потоку на процес руйнування матеріалу в вихровому млині. *Збагачення корисних копалин: Наук.-техн.зб.*, 11(52), 110-113.
3. Чеберячко, І.М., Дерюгин, В.Г., & Чеберячко, Ю.І. (2006). *Патент України* 124248. Державне патентне відомство України.
4. Чеберячко, Ю.І., Чеберячко, І.М., Кириченко, Є.О., & Самуся, В.І. (2021). *Патент України* 124248. Державне патентне відомство України.

ABSTRACT

Purpose. Improving the quality of iron oxide by grinding it and removing chlorine-containing impurities. Development of the technological scheme for the decision of these questions with use of vortex devices and definition of optimum parameters of its work.

The methodology is to analyze the quality indicators obtained in the experimental setup which uses swirling flows to grind and heat the concentrate to 350-250 ° C with its exposure in the hopper 1.5-2.0 hours.

Findings. The experimental setup obtained the optimal parameters of its operation, which make it possible to determine the mechanism of moisture movement inside the concentrate particles and its evaporation and removal of harmful impurities from it into the environment. The results of a combination of the operations of grinding the solid phase and its drying in a vortex flow, followed by holding iron oxide in a bunker at steady temperatures, are presented. The results of the effect of heat treatment temperature in a vortex apparatus on the degree of removal of chlorine-containing substances from iron oxide are graphically presented. It has been proved that in the process of grinding in a vortex apparatus during dust collection in cyclones of the finished product and keeping it in bunkers at a constant temperature, it will be possible to preserve the characteristic thermodynamic state of iron oxide, in which contributes to the active release of impurities from it. The optimal temperatures and holding time of iron oxide in the hoppers of the finished product are determined, which reduces the content of chlorine-containing impurities and improves its quality.

The originality. The dependences of the degree of removal of chlorine-containing substances from iron oxide on the heat treatment temperature in the vortex apparatus are established.

Practical implications. The main operating parameters of drying are determined, with these parameters will be active removal of harmful impurities of iron oxide concentrate, which will improve its quality and increase the range of products.

Keywords: *a vortex installation, iron oxide, drying, grinding, separation, enrichment, chlorine-containing substances, harmful impurities.*