

Полученные закономерности позволяют многокомпонентную смесь представить как смесь с меньшим числом компонент (понижить группу смеси), вплоть до бинарной смеси (группа 2), за счет объединения отдельных компонент заданной смеси в составные компоненты. При этом составные компоненты в адекватной смеси могут быть представлены любыми комбинациями компонент заданной смеси. Определен способ представления многокомпонентной смеси в виде оптимальной бинарной смеси.

Результаты могут быть использованы для определения законов распределения содержаний компонент в заданных многокомпонентных смесях со случайным изменением содержания, моделирования вещественного состава переменных смесей, оперативного прогнозирования содержания компонент в системах оперативного контроля вещественного состава переменных смесей.

Методология анализа рассматривается в общем виде и может быть применима к любым природным или искусственно созданным смесям с различными видами вещественного состава и фазовыми состояниями смеси и ее компонент.

Список литературы:

1. Задачник по количественному анализу, Изд. 3-е, доп., Изд-во «Химия», -Л., 1972, -376 с.
2. МИНЕРАЛОГИЯ КРИВОРОЖСКОГО БАССЕЙНА: Ответственный редактор акад. АН УССР Е.К. Лазаренко Издательство. –К.: "Наукова думка", 1977. -544 с.

УДК 681.51:622.771

ЗУБКЕВИЧ В.Ю., ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ОБОГАЩЕНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ МЕТОДОМ КУСКОВОЙ ТЕРМОГРАФИЧЕСКОЙ СОРТИРОВКИ

Была разработана новая технология кусковой сортировки, основанная на использовании термографического контроля физико-химических свойств обогащаемого кускового минерального сырья с использованием современных средств контроля в области инфракрасного излучения и специальных информационных технологий. Проведены экспериментальные исследования опытных образцов по термографической технологии по специальной программе. Целью таких исследований являлось определение устойчивых зависимостей параметров теплового образа контролируемого объекта от его физических и химических свойств.

Була розроблена нова технологія кусковий сортування, заснована на використанні термографічного контролю фізико-хімічних властивостей

збагачуваної кускового мінеральної сировини з використанням сучасних засобів контролю в області інфрачервоного випромінювання та спеціальних інформаційних технологій. Проведено експериментальні дослідження дослідних зразків по термографічній технології за спеціальною програмою. Метою таких досліджень було визначення стійких залежностей параметрів теплового способу контрольованого об'єкта від його фізичних і хімічних властивостей

Has developed a new technology lump sorting based on the use of thermographic testing of physical and chemical properties of minerals enriched lump using modern means of control in the field of infrared radiation and special information technology. Experimental studies of prototypes for thermal technology in a special program. The purpose of these studies was to determine the dependence of the parameters of stable thermal image of the object under control of its physical and chemical properties.

Методи термографічної кускової сортировки мінерального сировини ґрунтуються на невідрушаючому оперативному контролі фізико-хімічних властивостей речовини з використанням теплового випромінювання контролюваного речовини, нагрітого з допомогою СВЧ джерела електромагнітної енергії.

Використання СВЧ джерел для первинного нагріву речовини забезпечує вибірочний нагрів компонентів контролюваного речовини, що вже на підготовчій стадії забезпечує підвищення чутливості і вибірочності методу.

Аналіз досліджень і публікацій. При облученні багатокомпонентного речовини СВЧ енергією, різні його складові частини будуть поглинати різну кількість енергії, а, відповідно, нагрів різних компонентів буде не однаковою мірою. Крім того, поширення СВЧ енергії в речовини так само визначається його властивостями, що сприяє вибірочному нагріву.

Такий нагрів дозволяє отримати плоский інтегральний і дифференціальний образ контролюваного об'єкта, аналізуючи які можна отримати оцінки деяких властивостей речовини, з яких складається контролюваний об'єкт.

Нагрів речовини в СВЧ полі визначається виразом:

$$\Delta T = T_H - T_O = \frac{\pi f E_m^2 \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \delta}{c \rho} \cdot \Delta t_H \text{ [}^\circ\text{K]},$$

де T_H – температура одиниці об'єму речовини після впливу СВЧ поля [$^\circ\text{K}$];

T_O – температура одиниці об'єму речовини до впливу СВЧ поля [$^\circ\text{K}$];

f – частота СВЧ поля [Гц];

E_m – напруженість СВЧ поля [В/м.];

ε_0 – диэлектрическая постоянная ($\varepsilon_0=8,85418781762 \cdot 10^{-12}$) [$\Phi / м.$];

ε – относительная диэлектрическая проницаемость вещества;

$tg\delta$ – тангенс диэлектрических потерь вещества;

c – удельная теплоемкость вещества [$Дж / (кг \cdot ^\circ K)$];

ρ – плотность вещества [$кг / м^3$];

Δt_H – время воздействия СВЧ поля на вещество [$с.$].

С другой стороны, нагрев вещества в СВЧ поле можно представить выражением:

$$\Delta T = T_H - T_O = W_{СВЧ} \cdot F_B \cdot \Delta t_H [^\circ K],$$

где $W_{СВЧ}$ – объемная мощность СВЧ поля [$Вт / м^3$];

F_B – СВЧ фактор вещества [$^\circ K \cdot м^3 / Вт.$];

Значение объемной мощности СВЧ поля можно определить исходя из вводимой в СВЧ камеру СВЧ мощности и объема СВЧ камеры по выражению:

$$W_{СВЧ} = \frac{P_{СВЧ}}{V_{СВЧ}} [Вт / м^3],$$

где $P_{СВЧ}$ – подводимая СВЧ мощность [$Вт.$];

$V_{СВЧ}$ – объем СВЧ камеры [$м^3$].

$$V_{СВЧ} = L \cdot B \cdot H [м^3],$$

где L – длина рабочей зоны СВЧ камеры [$м.$];

B – ширина рабочей зоны СВЧ камеры [$м.$];

H – высота рабочей зоны СВЧ камеры [$м.$].

С другой стороны объемная мощность СВЧ поля

$$W_{СВЧ} = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 [Вт / м^3].$$

Откуда, значение напряженности СВЧ поля будет:

$$E_m = \sqrt{\frac{P_{СВЧ}}{L \cdot B \cdot H \cdot \pi f \varepsilon_0}}.$$

СВЧ фактор вещества определяется физико-химическими свойства вещества и определяется по выражению:

$$F_B = \frac{\varepsilon \cdot tg\delta}{c\rho} [^\circ K \cdot м^3 / Вт].$$

В настоящее время теория не позволяет найти значения $tg\delta$, ε , c , и ρ для твердых тел, жидкостей или растворов чисто расчетным путем. Поэтому СВЧ фактор для конкретного вещества определяются экспериментально.

Изложение материалов и результатов исследований. Технология кусковой сортировки на основе термографических методов заключалась в последовательном выполнении следующие операции:

1. формирование потока контролируемого вещества;
2. СВЧ нагрев контролируемого вещества;
3. контроль и фиксация отображения объектов контролируемого вещества в инфракрасном излучении;

4. идентификация объектов контролируемого вещества и определение параметров сортировки

5. сортировка контролируемого вещества.

Для проведения экспериментов создана лабораторная установка, позволяющая в статическом и динамическом режимах проводить исследования различных веществ.

СВЧ облучение (нагрев) осуществляется с помощью СВЧ генератора на основе магнетрона.

Контроль инфракрасного излучения объектов контролируемого вещества осуществляется сканирующим устройством (тепловизором) по двум координатам: вдоль вектора перемещения контролируемых объектов и перпендикулярно вектору перемещения. Это позволит получить плоские изображения тепловых полей контролируемых объектов.

Последующий анализ полученных тепловых изображений (тепловых образов контролируемого объекта) включает:

1. идентификацию объекта(тов) контроля (получение контура объекта);

2. геометрический анализ объекта(тов) контроля, включающий определение площади контура, геометрического центра, максимальных размеров по осям координат и абсолютного максимального размера;

3. тепловой анализ объекта(тов) контроля, включающий определение изотермических контуров, направления и значения максимальных градиентов температурных полей, определение зон с наивысшей энергетической светимостью и средней тепловой энергии этих зон, определение энергетической светимости от всей поверхности объекта контроля.

4. вещественный анализ объекта(тов) контроля, включающий определение массы объекта контроля, процентного (массового) содержания компонентов, входящих в объект контроля и распределение компонентов по объему объекта контроля.

Сортировка осуществляется путем избирательного в пространстве и времени механического воздействия на контролируемый объект с помощью специального сортирующего механизма и включает:

1. определение порогов сортировки для принятия решения (выполняется на основании геометрического и теплового анализа);

2. определение позиции и времени сортирующего воздействия;

3. формирование управляющего воздействия на сортирующий механизм.

При проведении экспериментов использовались следующие три вида минерального сырья.

1. Железорудное сырье Криворожского бассейна (Украина) представляло собой крупнозернистую фракцию дробильно-сортировочной фабрики шахты, принадлежащей комбинату «Миттал Стил Кривой Рог». В состав материала входили обломки богатой гематитовой руды с содержанием

железа 60-69 мас.%, гематитового кварцита (30-40%) и нерудных вмещающих пород – разного состава сланцев (до 20%). Гематит представлен мартитом, а также в значительно меньшем количестве железной слюдкой и дисперсным гематитом. Общее содержание гематита в материале пробы составляло около 40 объемн.%, кварца – около 50%, остальной объем пробы составляли силикаты (каолинит, бейделлит, гидрослюды, хлорит), гетит, дисперсный гетит, карбонаты (кальцит, доломит, пистомезит).

2. Железорудное сырье Горно-Шорской группы месторождений (Российская Федерация) было представлено бедными магнетитовыми рудами скарнового происхождения, разрабатываемыми объединением «Евразруда» (г. Новокузнецк). В состав материала пробы входили обломки кондиционной магнетитовой руды с содержанием железа 20-50 мас.%, некондиционной руды (5-20%), нерудного скарна (менее 5%), а также вмещающих магматических пород (диабаз, долерит, роговообманковый роговик и др.). Общее содержание магнетита в материале пробы около 20%, остальной объем пробы составляли силикаты (диопсид, актинолит, флогопит, эпидот и др.), карбонаты (кальцит, доломит), сульфиды (пирит, в небольшом количестве пирротин).

3. Шлаковые отходы Никопольского ферросплавного завода (Украина), которые представляли собой стекловатый шлак с шарообразными включениями ферросплавов.

Таким образом, пробы 1 и 3 были практически биминеральными: первая на 90% состояла из гематита и кварца, третья – практически полностью из техногенного стекла и ферросплава. Проба 2 имела полиминеральный состав – кроме магнетита в качестве рудообразующих минералов в ней присутствовали диопсид, актинолит, эпидот, кальцит, а в некоторых обломках – пирит. Разнообразие минерального состава изученных проб повысило трудность распознавания рудных и нерудных обломков.

Для определения и проверки технологических параметров методов термографической сортировки кускового минерального сырья бала создана опытно-промышленная установка термографической сортировки, внешний вид которой представлен на рис. 1, а технологическая схема – на рис. 2.



Рис. 1. Общий вид установки для термографической сортировки минерального сырья.

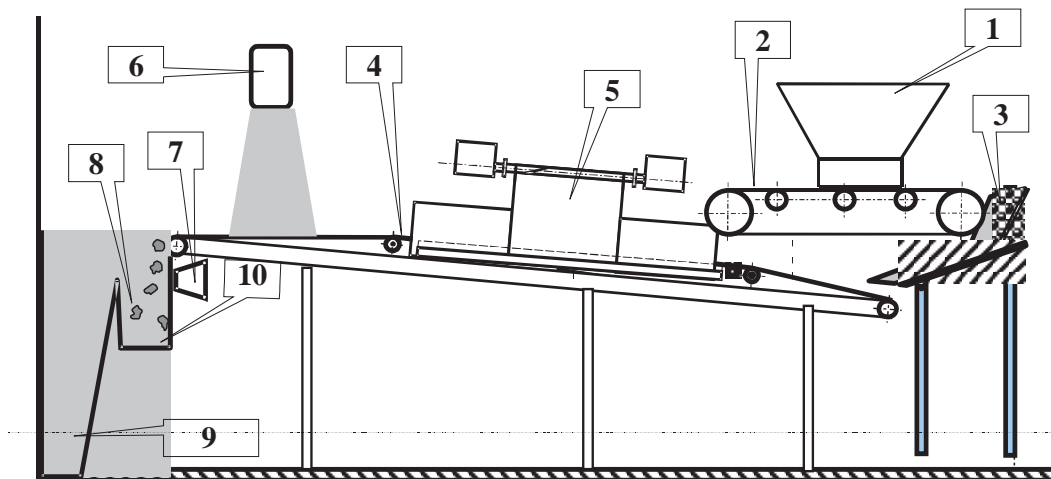


Рис. 2. Технологическая схема установки для термографической сортировки минерального сырья.

1 - накопительный бункер, 2 - конвейерный питатель, 3 – раскладчик, 4 - транспортный конвейер, 5 - СВЧ камера нагрева, 6 - узел инфракрасного контроля, 7 - сортирующее устройство, 8 - приемный бункер, 9 - отсек «хвостов» приемного бункера, 10 - отсек промпродукта приемного бункера

Опытно-промышленная установка представляет собой передвижной модуль подготовки и сортировки руд черных и цветных металлов, горнохимического сырья, вторичного сырья и техногенных отходов (в дальнейшем – установка ПС, или УПС), предназначена для подготовки исходного кускового сырья для дальнейшей переработки и имеет следующие основные технические характеристики:

- габаритные размеры – 6,5 м. х 5,3 м. х 2,8 м.
- вид потребляемой энергии – электроэнергия;
- установленная электрическая мощность – 50 КВт.
- производительность УПС по исходному сырью – 40 т/ч.(при крупности 50-60 мм.);
- гранулометрический состав исходного сырья – 20...140 мм.;
- площадь промышленной площадки для УПС – 1000 м²;
- расход сжатого воздуха – 2200 н. л / мин.;
- расход вентиляционного воздуха– 5000 м³/ч;
- расход нагретого воздуха – 4500 м³/ч;

Исходное сырье крупностью 20...140 мм. загружается (рис. 2) в приемный бункер 1 установки ПС. Из приемного бункера исходное сырье конвейерным питателем 2, с шириной ленты равной 650 мм., подается на раскладчик с виброприводом 3, который обеспечивает формирование монослоя кусков. С раскладчика монослойный поток исходного сырья пода-

ется на транспортный конвейер 4 с шириной ленты 750 мм. Транспортным конвейером исходное сырье перемещается в СВЧ-камеру 5, где осуществляется нагрев исходного сырья в потоке.

После выхода сырья из сушильной камеры осуществляется контроль качества сырья, по результатам которого на конце транспортного конвейера сырье сортируется на два класса.

Для подбора просыпающегося сырья вдоль технологической линии установлен просыпной конвейер 6 с шириной ленты 500 мм., который при реверсном включении используется для режима отладки установки ПС.

В качестве сортирующего устройства используется пневматическая система на сжатом воздухе.

После сортировки полученные классы конечного продукта через соответствующие точки направляются на левый и правый конвейеры готовой продукции соответственно. Ширина ленты обоих конвейеров – 500 мм.

Для очистки воздуха внутри технологического модуля установки ПС от пыли используется аспирационная система циклонного типа.

УПС конструктивно выполнена в виде закрытого технологического модуля не предусматривающая присутствие в нем обслуживающего персонала при нормальном течении технологического процесса.

Контроль, управление и наблюдение за работой УПС осуществляется оператором с диспетчерского пункта, расположенного на расстоянии до 50 м от технологического модуля УПС.

В состав установки входит компрессорная станция и система очистки воздуха.

Производительность установки определяется гранулометрическим составом сырья при прочих неизменных параметрах установки.

Конструкция установки. Конструктивно установка термографической сортировки минерального сырья представляет собой набор передвижных модулей (технологический модуль и диспетчерский модуль) и состоит из приемного бункера, формирователя монопотока (раскладчика), горизонтального транспортного конвейера монопотока с установленными на нем узлами СВЧ нагрева и инфракрасного контроля, а на подающем конце конвейера установлены узел сортировки и разделени.

Конструктивные параметры установка термографической сортировки минерального сырья обеспечивают ее производительность до 200 тонн в час по исходному материалу (в зависимости от гранулометрического состава).

Контроль объектов сортировки в инфракрасном спектре излучения. Непрерывный термографический контроль вещества в потоке (на конвейере) осуществляется термографическим устройством растрового типа (тепловизором) с разрешением по температуре 0,08 °С, с частотой кадровой развертки 50 Гц. Фиксация теплового изображения объектов синхронизирована по положению конвейерной ленты, что позволяет осуществлять отслеживание положения объектов до момента сортировки.

Сигнал тепловизора обрабатывается вычислительным устройством в реальном масштабе времени.

Идентификация объектов непрерывного контроля. Идентификация объектов при термографическом контроле осуществляется путем обработки графического изображения в реальном масштабе времени с использованием метода сегментации изображений с применением алгоритма водораздела и метода приведенных поверхностей.

Результатом идентификации объектов является определение контуров объектов и их положения в кадре изображения, с последующим геометрическим анализом идентифицированных объектов.

Параметры сортировки. Параметры сортировки определяются в реальном масштабе времени на основании анализа теплового поля идентифицированного объекта с использованием результатов геометрического анализа того же объекта.

Параметрами сортировки являются:

- признак сортировки;
- местоположение объекта в момент фиксации кадра теплового изображения;
- перемещение объекта за время обработки данных кадра;
- геометрические размеры (габариты) объекта.

Сортирующее устройство. В качестве сортирующего устройства использована линейка пневматических сопел (дюз), расположенных под подающим концевым роликом транспортного конвейера параллельно его оси. Управление воздушным потоком сопел (дюз) осуществляется с помощью быстродействующих электрических клапанов. Управляющие сигналы на клапана поступают от устройства управления сортирующим устройством. Момент подачи управляющего сигнала и его длительность определяется управляющим устройством на основании параметров сортировки.

Таблица 1

Термографические параметры некоторых видов минерального сырья

| Вид Сырья | Диапазон | Массовая доля полезного компонента (%) | Плотность (г/см ³) | Термодинамический СВЧ фактор (°К·м ³)/Дж | Термодинамическая СВЧ проникаемость | Параметр сортировки |
|------------------------------------|----------|--|--------------------------------|--|-------------------------------------|---------------------|
| Карьерная железная руда (Украина) | Макс. | 35,36% | 3,43 | 0,000022641 | 30,10 | 21,1689 |
| | Среднее | 25,26% | 3,18 | 0,000008583 | 11,12 | 4,9499 |
| | Мин. | 13,59% | 2,71 | 0,000000984 | 0,82 | 0,0227 |
| Железородные хвосты (Россия) | Макс. | 68,92% | 4,94 | 0,000021841 | 26,59 | 7,2837 |
| | Среднее | 30,64% | 3,75 | 0,000005902 | 5,93 | 0,9179 |
| | Мин. | 0,40% | 2,64 | 0,000000615 | 0,32 | 0,0001 |
| Окисленная железная руда (Украина) | Макс. | 39,50% | 3,57 | 0,000009844 | 7,58 | 0,1464 |
| | Среднее | 27,62% | 2,91 | 0,000006409 | 3,27 | 0,0206 |
| | Мин. | 8,18% | 2,50 | 0,000002051 | 0,59 | 0,0000 |
| Шахтная железная руда (Украина) | Макс. | 52,92% | 3,62 | 0,000055930 | 45,47 | 0,1971 |
| | Среднее | 39,47% | 3,31 | 0,000033698 | 27,96 | 0,0545 |
| | Мин. | 24,05% | 2,81 | 0,000013423 | 8,69 | 0,0002 |
| Шлаки ферросплавный НФЗ (Украина) | Макс. | 32,39% | 3,65 | 0,000026086 | 32,28 | 7,9536 |
| | Среднее | 16,29% | 3,07 | 0,000009090 | 8,90 | 1,0343 |
| | Мин. | 4,07% | 2,70 | 0,000001477 | 1,46 | 0,0000 |
| Шлак ванадиевый (Россия) | Макс. | 32,29% | 3,62 | 0,000085014 | 115,90 | 4,5533 |
| | Среднее | 20,72% | 3,12 | 0,000041319 | 45,41 | 1,0100 |
| | Мин. | 12,80% | 2,72 | 0,000010067 | 8,29 | 0,0014 |
| | Диапазон | Массовая доля полезного компонента (%) | Плотность (г/см ³) | Термодинамический СВЧ фактор (°К·м ³)/Дж | Термодинамическая СВЧ проникаемость | Параметр сортировки |
| | Макс. | 35,36% | 3,43 | 0,000022641 | 30,10 | 21,1689 |
| | Среднее | 25,26% | 3,18 | 0,000008583 | 11,12 | 4,9499 |
| | Мин. | 13,59% | 2,71 | 0,000000984 | 0,82 | 0,0227 |
| | Макс. | 68,92% | 4,94 | 0,000021841 | 26,59 | 7,2837 |
| | Среднее | 30,64% | 3,75 | 0,000005902 | 5,93 | 0,9179 |
| | Мин. | 0,40% | 2,64 | 0,000000615 | 0,32 | 0,0001 |
| | Макс. | 39,50% | 3,57 | 0,000009844 | 7,58 | 0,1464 |
| | Среднее | 27,62% | 2,91 | 0,000006409 | 3,27 | 0,0206 |
| | Мин. | 8,18% | 2,50 | 0,000002051 | 0,59 | 0,0000 |
| | Макс. | 52,92% | 3,62 | 0,000055930 | 45,47 | 0,1971 |
| | Среднее | 39,47% | 3,31 | 0,000033698 | 27,96 | 0,0545 |
| | Мин. | 24,05% | 2,81 | 0,000013423 | 8,69 | 0,0002 |
| | Макс. | 32,39% | 3,65 | 0,000026086 | 32,28 | 7,9536 |
| | Среднее | 16,29% | 3,07 | 0,000009090 | 8,90 | 1,0343 |
| | Мин. | 4,07% | 2,70 | 0,000001477 | 1,46 | 0,0000 |
| | Макс. | 32,29% | 3,62 | 0,000085014 | 115,90 | 4,5533 |
| Среднее | 20,72% | 3,12 | 0,000041319 | 45,41 | 1,0100 | |
| Мин. | 12,80% | 2,72 | 0,000010067 | 8,29 | 0,0014 | |

Результаты опробования термографической сортировки. В процессе исследований были опробованы руды Криворожского железорудного бассейна (Украина), руды Новокузнецкого железорудного бассейна (Россия) и шлаковые отходы Никопольского ферросплавного завода (Украина). Частичное опробование проведено марганцевых руд Никопольского (Украина) и Чиатурского (Грузия) месторождений, хромитов Побугжского месторождения (Украина), и техногенных отходов ферросплавного производства Зестафонского ферросплавных заводов (Грузия).

Термографические параметры некоторых видов минерального сырья приведены в табл. 1.

Выводы.

- Проведенные исследования и конструкторские разработки показали возможность использования методов термографической кусковой сортировки для предварительного и окончательного обогащения полезных ископаемых в объемах применимых для промышленного производства.

- Термографическая сортировка может быть использована для обогащения хромитов, углей, апатитов и других рудных и нерудных полезных ископаемых природного и техногенного происхождения.

- Низкое энергопотребление и компактность конструкции позволяет создавать мобильные установки для переработки накопившихся отходов горнометаллургического производства

- Методы термографической кусковой сортировки могут применяться для многофакторной сортировки сырья.

Примеры термографических изображений и соответствующих изображений в видимом свете и некоторые зависимости приведены на рис. 3-11.

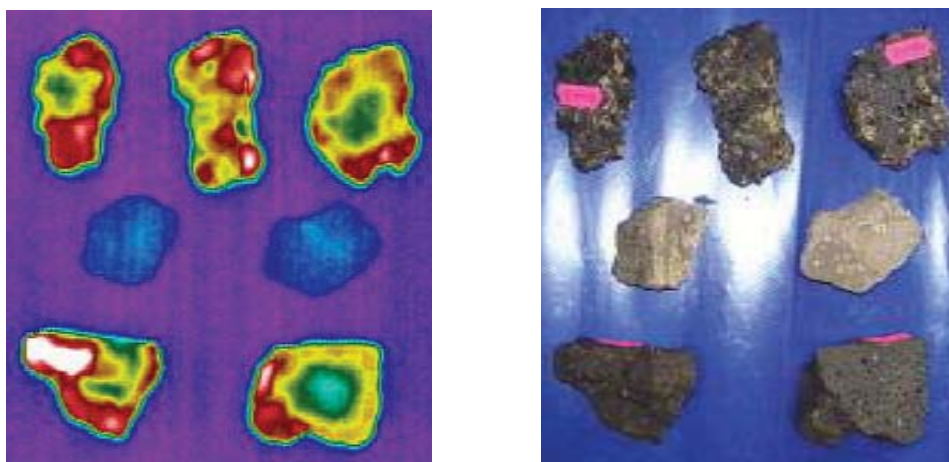


Рис. 3. Руда Никопольского Месторождение (термограмма – слева и в видимом свете – справа)

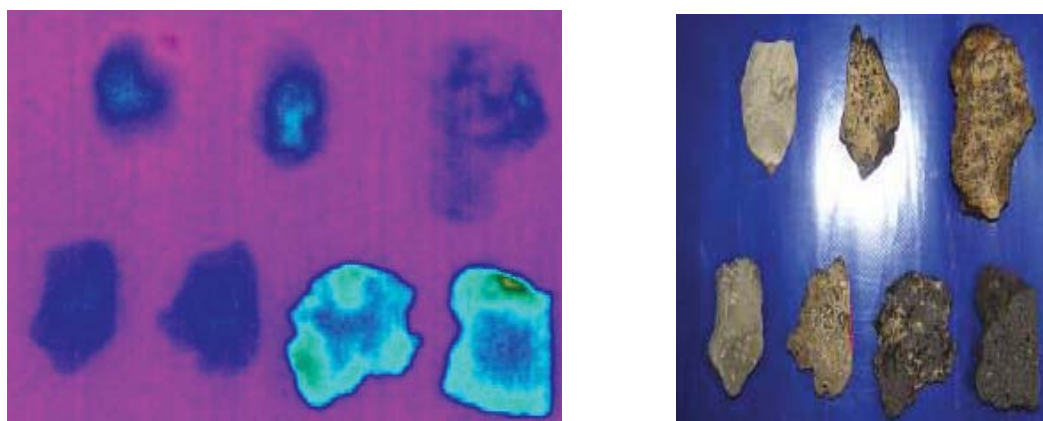


Рис 4. Руда Чиатурского месторождение (термограмма – слева и в видимом свете – справа)

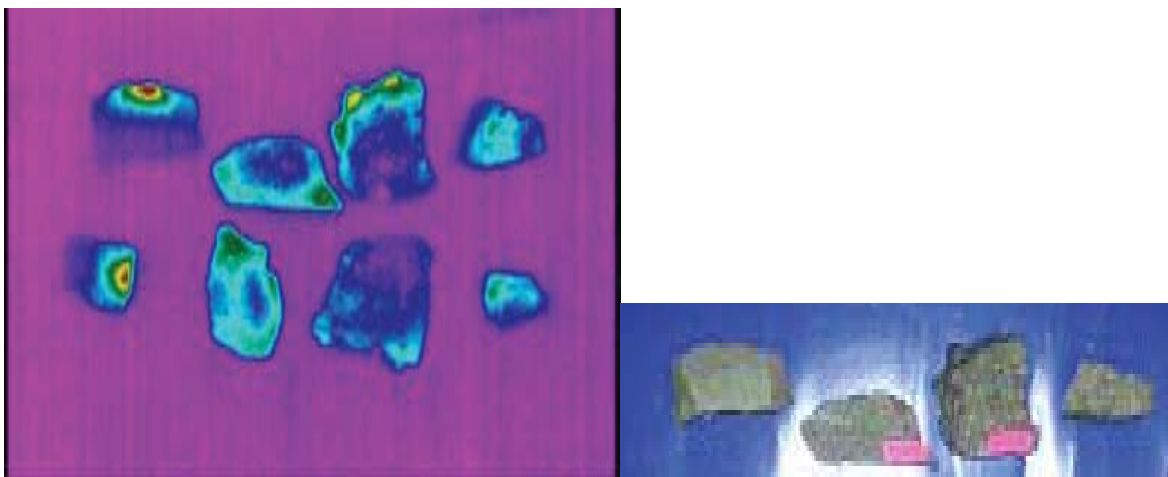


Рис. 5. Шлаки Зестафонского ферросплавного завода (термограмма – слева и в видимом свете – справа)

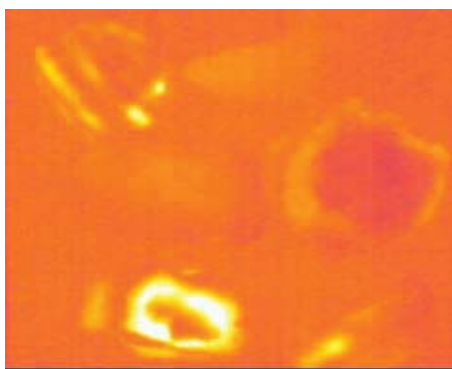


Рис. 6. Каменный уголь (термограмма)

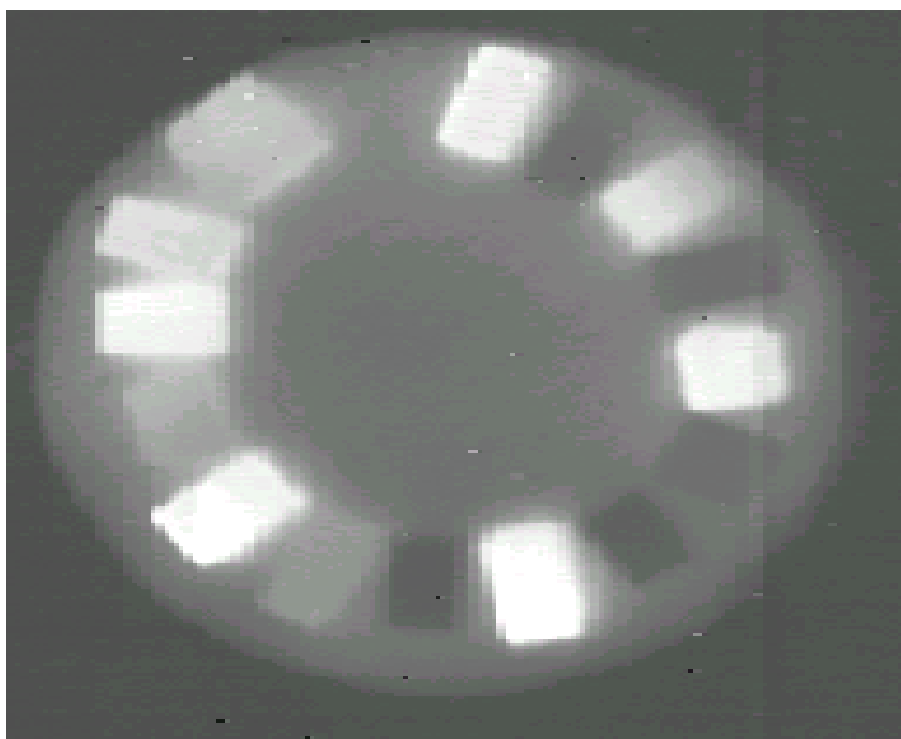


Рис. 7. Подготовленные железорудные пробы (термограмма)

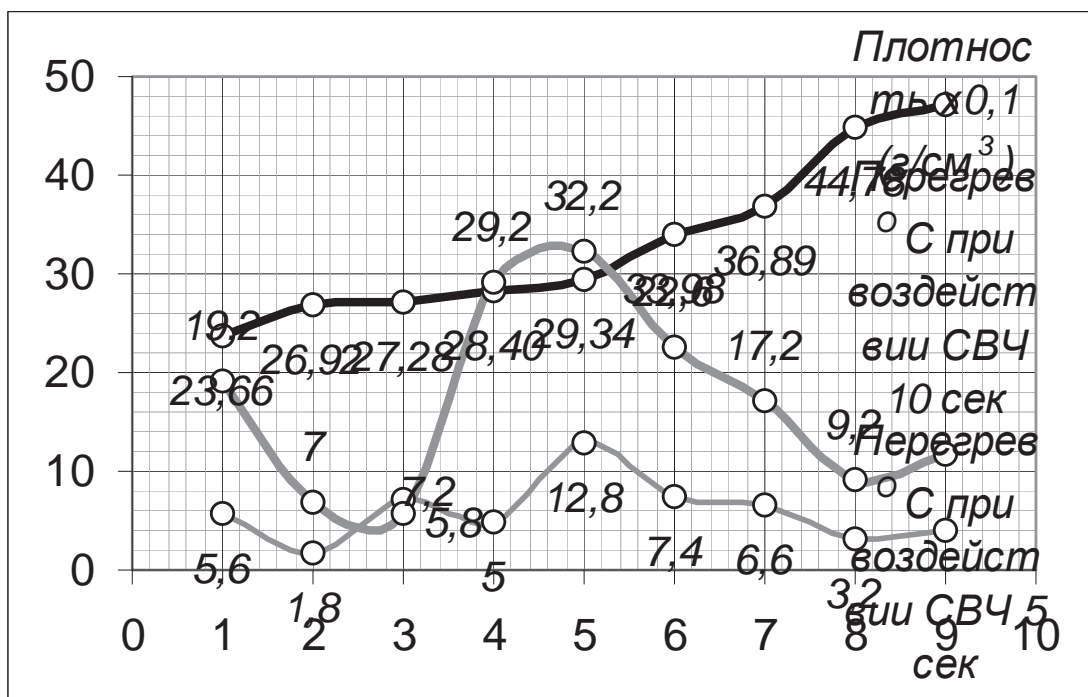


Рис. 8. Нагрев подготовленных железорудные пробы в СВЧ поле.

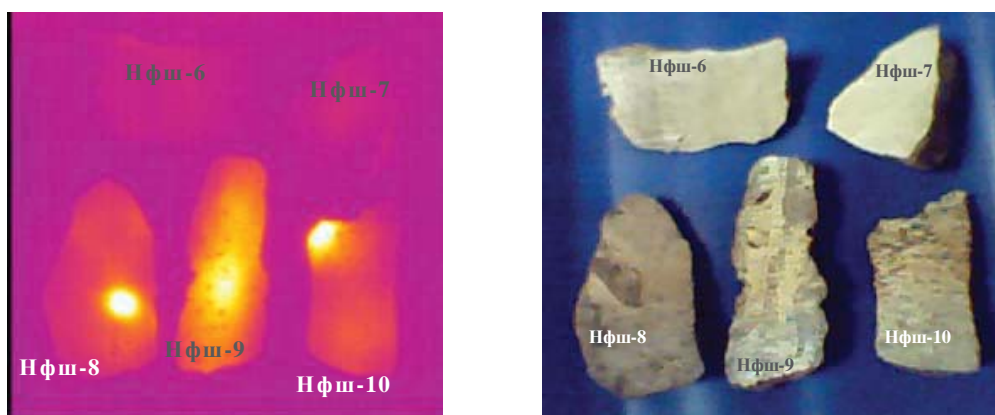


Рис. 9. Изображение образцов шлаков Никопольского ферросплавного завода (термограмма – слева и в видимом свете – справа)

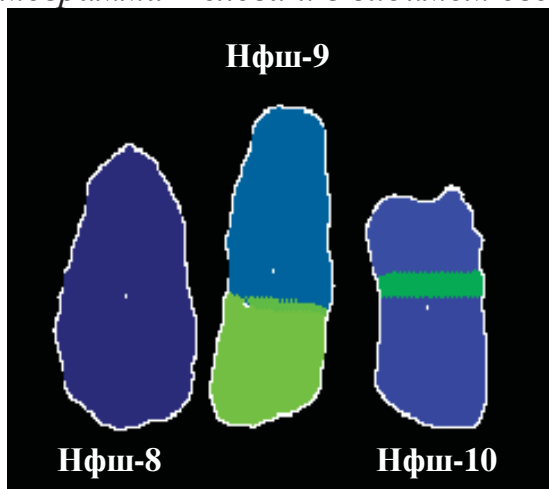


Рис. 10. Идентификация образцов шлаков Никопольского ферросплавного завода

Таблица 2

Параметры идентифицированных образцов шлаков Никопольского ферросплавного завода

| Образец | Площадь | Светимость | Периметр | Макс. лин. размер | Коэф. формы | Размер X | Размер Y |
|---------|---------|------------|----------|-------------------|-------------|----------|----------|
| Нфш-8 | 5772 | 129 | 361 | 110 | 0,90 | 59 | 162 |
| Нфш-9 | 5758 | 150 | 377 | 127 | 0,92 | 130 | 152 |
| Нфш-10 | 4539 | 125 | 318 | 98 | 0,91 | 205 | 166 |

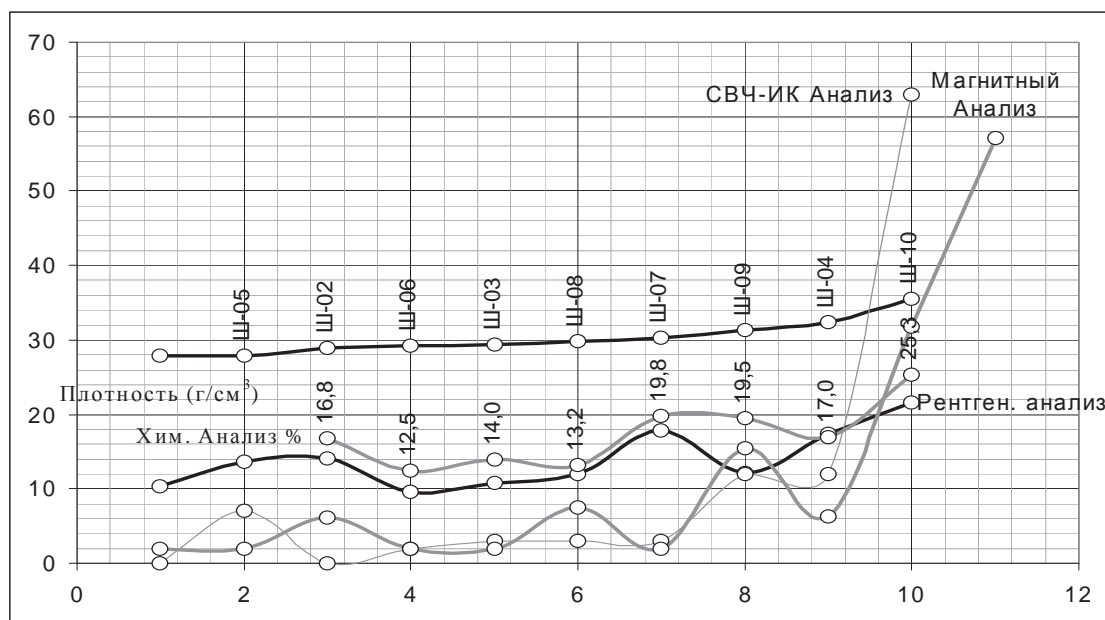


Рис. 11. Сравнительные характеристики контроля шлаков Никопольского ферросплавного завода

УДК 622.1:528.7

О.В. ДОЛГІХ, Л.В. ДОЛГІХ, кандидати техн. наук, доц.
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ПОДРАБОТАННОЙ ПОДЗЕМНЫМИ ГОРНЫМИ РАБОТАМИ

В статье рассмотрены вопросы использования теории нейронных сетей при прогнозировании выхода воронок на дневную поверхность под воздействием подземных горных работ.

У статті розглянуті питання використання теорії нейронних мереж при прогнозуванні виходу воронок на денну поверхню під впливом підземних гірських робіт.

The article discusses the use of the theory of neural networks in forecasting output hoppers to the surface under the influence of sub-terrestrial mining.