

УДК 622.7

Шибаева Дарья Николаевна, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, Шумилов Павел Александрович, научный сотрудник, Булатов Виктор Владимирович, инженер, Терещенко Сергей Васильевич, доктор техн. наук, руководитель лаборатории.

Горный институт КНЦ РАН, 184209, Россия, г. Апатиты, ул. Ферсмана 24

E-mail: shibaeva_goi@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЧНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РАДИОМЕТРИЧЕСКОГО СЕПАРАТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИММИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация: В статье структурированы факторы, оказывающие влияние на производительность радиометрических сепараторов. Приведены примеры существующих образцов российского и зарубежного сортировочного оборудования. Разработан макетный стенд, моделирующий работу основных узлов радиометрического сепаратора. Описаны основные принципы для имитации движения транспортирующего устройства и контролирующих его датчиков, формирования потока сигналов вторичного излучения с поверхности исследуемого образца и его регистрацию фотоприемником, работы устройства визуализации уровня зарегистрированного сигнала и устройства обработки и выработки управляющего сигнала на исполнительный механизм. Проведена оценка скорости обработки зарегистрированного потока вторичного излучения с поверхности исследуемого образца и выработка команды на исполнительный механизм. Проанализирован полученный результат времени прохождения куска рудной массы через зону облучения и регистрации для апатитсодержащих руд Хибинского массива. Установлено, что регистрация интенсивности люминесценции апатита за время равное 2 мс является достаточным условием для его эффективного выделения из минеральной смеси. Рассчитано граничное значение производительности люминесцентного сепаратора равное 119,2 т/ч.

Ключевые слова: радиометрический сепаратор, производительность радиометрического сепаратора, моделирование, микроконтроллеры, скорость обработки сигналов, апатитсодержащие руды, кинетика люминесценции.

Информация о статье: принята 01 июня 2019 г.

DOI: 10.26730/1816-4528-2019-2-39-45

Минерально-сырьевая база России является одним из её основных стратегических потенциалов. Состояние и качество твердых полезных ископаемых постоянно изменяются, и характер этих изменений зачастую носит отрицательную динамику, характеризующуюся увеличением объемов рудной массы с низким содержанием полезного компонента, обусловленным геолого-структурными особенностями месторождений и применяемой технологией отработки запасов, сопровождающейся включением в добывшую рудную массу больших объемов разубоживающих пород. Переработка такой руды требует совершенствования подходов к рудоподготовке - использования процесса предконцентрации посредством автоматизированных устройств и систем, обеспечивающих высокую информативность и достоверность данных о качестве разделяемого кускового материала.

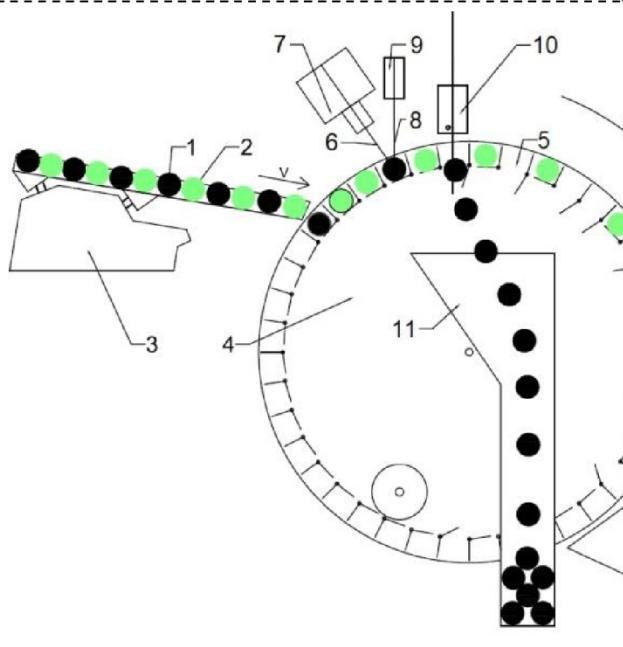
Реализация процесса предконцентрации добываемой рудной массы, использующего информационные методы, осуществляется в радиометрических сепараторах [1-12]. Эти устройства позволяют получать информацию о содержании полезных компонентов в кусковом материале горных пород при взаимодействии с ним различных видов излучений. В результате такого взаимодействия возникает

вторичное излучение, соответствующее некоторому физическому явлению, например, люминесценции, световой поток которой преобразуется специальными устройствами - детекторами - в электрические сигналы, являющиеся индивидуальной характеристикой каждого конкретного образца горной породы.

Поскольку спрос на продукцию горных предприятий остается на прежнем уровне, то в условиях снижения качества извлекаемых запасов для обеспечения потребностей общества необходимо добывать и перерабатывать большее количество горной массы. Решением задачи снижения себестоимости получения конечной продукции при нарастающих объемах руды, поступающей на обогащение, является включение процессов предконцентрации с использованием радиометрических сепараторов, обладающих высокой производительностью, которая определяется рядом факторов, разделенных на две группы:

первая группа связана со свойствами минерального сырья:

- временем развития физического явления в сепарируемых кусках рудной массы;
 - крупностью разделяемого материала;
- вторая группа обусловлена конструктивными особенностями сепаратора:



1, 2 - куски руды,
3 - вибропитатель,
4 - барабанный раскладчик,
5 - ячейки барабанного
раскладчика,
6 - первичное излучение,
7 - рентгеновская трубка,
8 - вторичное излучение,
9 - фотоприёмник,
10 - исполнительный механизм,
11 - концентратный желоб,
12 - хвостовой желоб

Рис.1. Схема радиометрического сепаратора

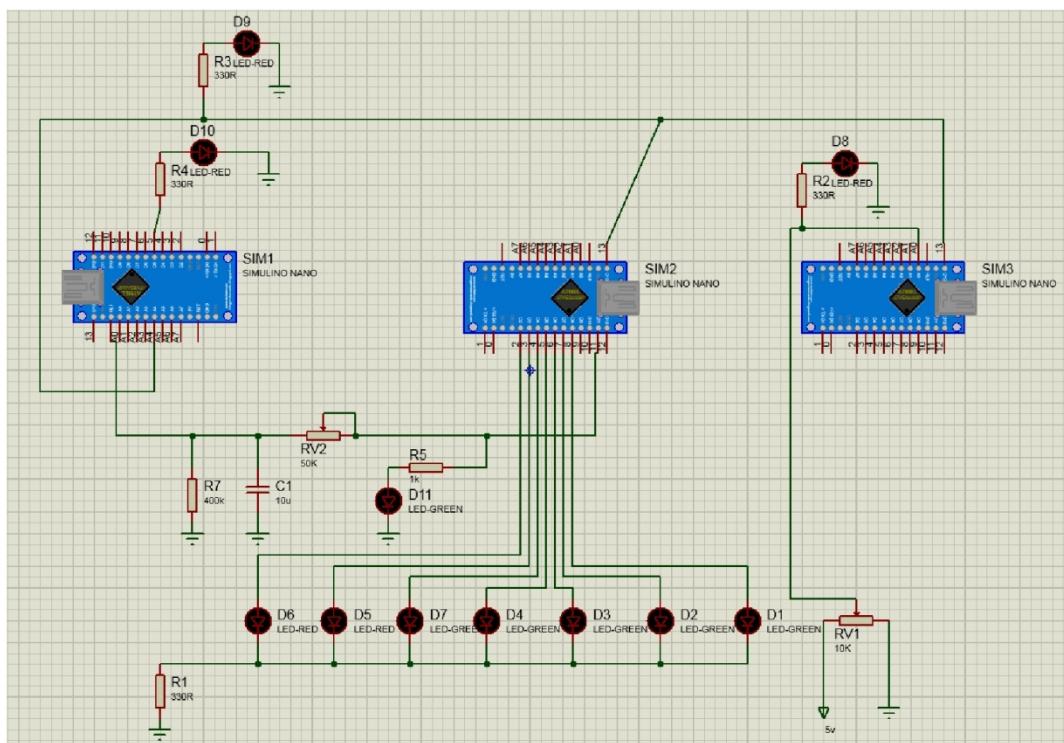


Рис.2. Принципиальная электронная схема, моделирующая работу люминесцентного сепаратора

- шириной зоны облучения и регистрации, определяющей плотность потока кусков (минимальное расстояние между кусками рудной массы, следующими друг за другом);
- скоростью подачи кусков рудной массы в зону облучения и регистрации;
- скоростью работы исполнительных механизмов, непосредственно реализующих процесс разделения (например, электропневмоклапаны, шиберы);
- скоростью обработки зарегистрированных сигналов.

Целью данной работы является оценка предельных возможностей блока обработки регистрируемых сигналов с поверхности исследуемых образцов и выработка управляющих решений с учетом времени развития физического явления в сепарируемых кусках, например, апатитовых руд Хибин, кинетическими характеристиками рентгенолюминесценции апатита.

В качестве моделируемого устройства принят люминесцентный сепаратор [13], схема которого представлена на рисунке 1. Разработанный макетный стенд, моделирующий его работу, позволит

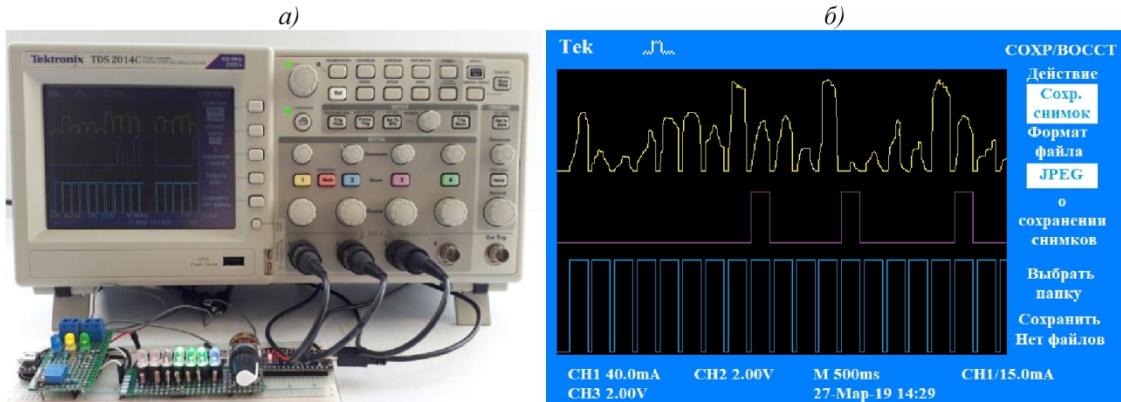


Рис.3. Иллюстрация работы моделирующего устройства: а) подключение макетного стенда к осциллографу, б) экран осциллографа

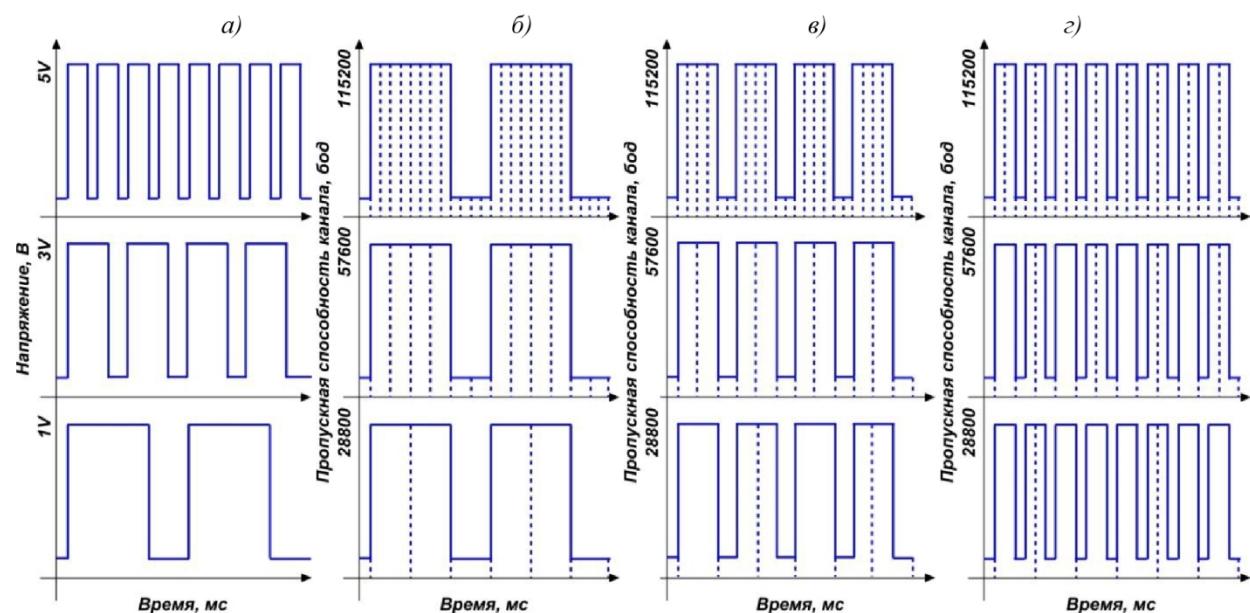


Рис.4. График генерируемых сигналов барабанного раскладчика:
а) изменение скорости вращения барабанного раскладчика; изменение пропускной способности канала при напряжении б) 4V, в) 3V, г) 5V

определить скоростные возможности блока обработки информации.

На рисунке 2 представлена принципиальная электронная схема макетного стенда. Первые два блока имитируют работу транспортирующего устройства (4), предназначенного для перемещения кусков рудной массы в зону облучения и регистрации, и устройства детектирования (фотоприемника (9), регистрирующего поток вторичного излучения с поверхности исследуемых образцов различного вещественного состава.

Вращение барабанного раскладчика (4) моделируется на микроконтроллере SIM3, скорость определяется величиной напряжения, изменяющейся в диапазоне от 0 до 5V. Интенсивность свечения светодиода D8 характеризует уровень поданного на микроконтроллер напряжения. Контроль скорости вращения барабанного раскладчика осуществляется с помощью датчиков движения, отслеживающих границы ячеек (5). Программный модуль, загруженный в микроконтроллер SIM3, генерирует

прямоугольный сигнал, характеризующий начало и конец каждой ячейки.

За моделирование потока вторичного излучения (8) с поверхности исследуемого образца отвечает микроконтроллер SIM2, генерирующий случайный сигнал, длительность которого определяется данными, поступившими с микроконтроллера SIM3. Моделируемый сигнал подвергается широтно-импульсной модуляции (ШИМ) с изменяющейся скважностью импульсов, при соблюдении постоянной частоты сигнала. На выходе RC-фильтра значение регистрируемого аналогового ШИМ-сигнала находится в диапазоне от 0 до 5V.

Работа третьего блока – блока обработки информации и выработки на исполнительный механизм (10) управляющего решения моделируется на микроконтроллере SIM1. Применяемые алгоритмы обработки информации аналогичны алгоритмам, используемым в опытном образце люминесцентного сепаратора, схема которого представлена на рисунке 1.

Выработка сигнала срабатывания исполнительного механизма на кусок рудной массы (отсечки) реализуется на основе данных, поступивших с микроконтроллеров SIM2 и SIM3. Для контроля работы исполнительного механизма на кусок, зарегистрированное значение вторичного излучения которого превышает заданный порог разделения, создана система индикации - линейка светодиодов D1-D7. Светодиоды зеленого цвета соответствуют генерируемому значению сигнала люминесценции ниже порогового значения, красные - выше.

Подключение к разработанному стенду осциллографа позволяет наблюдать генерируемые сигналы (рис. 3, а). Нижний график (голубой) на рисунке 3, б характеризует движение барабанного раскладчика, отображая границы ячеек, средний график (фиолетовый) иллюстрирует работу исполнительного механизма, верхний график (желтый) соответствует зарегистрированному вторичному излучению с поверхности исследуемого образца. На среднем графике рисунка 3, б наблюдается смещение на одну ячейку срабатывания исполнительного механизма, поскольку узлы блока облучения и регистрации (рентгеновская трубка 7 и фотоприемник 9) и исполнительный механизм (10) разнесены по расстоянию.

Оценка скорости обработки зарегистрированного потока вторичного излучения с поверхности исследуемого образца и выработки команды на исполнительный механизм проводилась путем увеличения скорости вращения барабанного раскладчика и программного увеличения пропускной способности канала обмена данными микроконтроллера SIM1 с компьютером, обеспечивающей рост дискретизации (рис.4). Дискретизация в данном случае определяется количеством зарегистрированных значений в единицу времени.

При повышении напряжения на микроконтроллере SIM3 уменьшается ширина импульса, характеризующего время прохождения ячейки барабанного раскладчика через зону облучения и регистрации (рис.4, а). Установлено, что для используемых микроконтроллеров типа Atmel AVR ATMega328 максимальное значение емкости канала, при котором отсутствуют сбои в работе микроконтроллера, составляет 115200 бот (бит/с).

Определение максимальной скорости вращения барабанного раскладчика, при которой частота дискретизации обеспечивает возможность реализации управляющего воздействия в середине амплитудной части импульса, позволит оценить предельные возможности блока обработки зарегистрированных сигналов и их соответствие предельным возможностям рентгенолюминесцентного метода, обусловленных минералого-технологическими свойствами исследуемого сырья.

Результаты измерений, представленные на рисунке 4, б-4, г, свидетельствуют о возможности обработки информации при максимальной для данного устройства скорости вращения транспортирующего устройства, определяющей величиной поданного на микроконтроллер напряжения. При напряжении в 5V время прохождения ячейки

барабанного раскладчика через зону облучения и регистрации составляет 2 мс.

Эффективность процесса реализации рентгенолюминесцентного метода апатитсодержащихrud Хибинского массива определяются кинетическими характеристиками люминесценции апатита - средним временем жизни возбужденного состояния - τ . В работе [14] показано, что кинетика люминесценции апатита является двухкомпонентной: короткий компонент τ_1 , со значением равным 0,045 мс, определяют ионы редких земель Ce³⁺, Dy³⁺, а длительный компонент τ_2 , со значением равным 35 мс, - ионы Mn²⁺. Причем за время равное τ_1 РЛ апатита разгорается до 90% её максимального значения, что свидетельствует о том, что регистрация интенсивности люминесценции апатита за время равное τ_1 является достаточным условием для его эффективного выделения из минеральной смеси.

Установлено, что возможности рентгенолюминесцентного метода незначительно превышают установленный временной предел, обеспечивающий возможность обработки потока люминесценции с поверхности образца и выработку управляющего решения на исполнительный механизм.

Результаты оценки предельных возможностей блока обработки сигналов с учетом кинетических характеристик рентгенолюминесценции апатита позволяют рассчитывать граничную производительность люминесцентного сепаратора.

Производительность сепаратора Q (т/ч) определяется по формуле [15]:

$$Q = 3,6 \cdot n \cdot v \cdot k_3 \cdot \frac{P_{cp}}{L_{cp}},$$

где n – число каналов сепаратора; v – скорость транспортирующего устройства, м/с; $k_3 = L_m / L_\phi$ – коэффициент загрузки сепаратора, равный отношению минимально возможного среднего расстояния между кусками к среднему фактическому; P_{cp} – средняя масса куска обогащаемого класса, кг; L_{cp} – среднее расстояние между кусками, м.

Скорость транспортирующего устройства рассчитывается на основании информации о времени прохождения ячейки барабанного раскладчика в зоне облучения и регистрации по формуле:

$$v = \frac{\pi \cdot D}{N \cdot t} = \frac{3,14 \cdot 1}{40 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} = 39,25 \text{ м/с},$$

где D – диаметр барабанного раскладчика, м; N – количество ячеек барабанного раскладчика, t – время прохождения ячейки в зоне облучения и регистрации, с.

Среднее расстояние между кусками (L_{cp}) определяется средним размером куска в исследуемом классе крупности, длиной ячейки барабанного раскладчика и толщиной используемого металла

$$L_{cp} = \left(\frac{\pi \cdot D}{N} - l_{cp} \right) + b = \left(\frac{3,14 \cdot 1}{40} - 0,040 \right) + 0,003 = 0,0415 \text{ м},$$

где l_{cp} – средний размер куска; b – толщина металла ячейки барабанного раскладчика, м.

Расчетная производительность одноканального сепаратора для рудной массы крупностью - 50+20мм, средний вес куска которой равен 70 г, составляет

$$Q = 3,6 \cdot 1 \cdot 39,25 \cdot 0,5 \cdot \frac{0,070}{0,0415} = 119,2 \text{ т/ч.}$$

Полученное значение является верхней границей производительности сепарационного оборудования, реализующего процесс разделения в покусковом режиме, определенно без учета условий, накладываемых устройствами транспортирования и разделения. Поскольку рассматриваемая модель радиометрического сепаратора [13] находится в стадии разработки, то оценка частоты срабатывания исполнительного механизма не проводилась. Предлагаемая система отсекателей в данной модели сепаратора существенно отличается от применяемых в существующих радиометрических сепараторах исполнительных механизмов:

- электромагнитные и пневматические шиберные устройства (например, максимальная частота срабатывания быстродействующего электромагнитного шиберного устройства МИ-30 сепаратора СРФ-50 – 20Гц [17]);

- электропневмоклапаны (например, частота срабатывания ЭПК-50, используемого в рентгеноспектральных, рентгенолюминесцентных и фотометрических сепараторах фирмы «ЭГОНТ» достигает 50Гц [16]).

Таким образом, разрабатываемая модель люминесцентного сепаратора, используемая система облучения, регистрации и обработки информации обладает предпосылками для не менее, чем двукратного повышения производительности по отношению к существующим моделям российского сепарационного оборудования [16-17].

Заключение

Проведенные на макетном стенде, моделирующем работу люминесцентного сепаратора, исследования времени обработки регистрируемых сигналов с поверхности исследуемых образцов и выработка управляющих решений позволили оценить предельные возможности блока обработки сигналов. Время прохождения ячейки барабанного раскладчика в зоне облучения и регистрации равное 2мс обеспечивает возможность возбуждения люминесценции апатита – ее разгорания интенсивности до 90% максимального значения, регистрации, обработки сигналов, выработка управляющего решения на исполнительный механизм. Границочное значение производительности люминесцентного сепаратора, основанное на предельных возможностях блока обработки сигналов с учетом кинетических характеристик рентгенолюминесценции апатита, составляет 119,2т/ч. Предлагаемая система отсекателей существенно отличается от применяемых в существующих радиометрических сепараторах исполнительных механизмов обуславливая предпосылки для не менее, чем двукратного повышения производительности по отношению к существующим моделям российского сепарационного оборудования при учете всех определяющих факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ООО «КРАСРАДОС», ООО «РАДОС». Пособие по рентгенорадиометрической сепарации

[Электронный ресурс]. – URL: <http://www.rados.ru/index.php/ru/stati/82-posobie-po-rentgenoradiometricheskoy-separatsii/> (дата обращения: 25.02.2019).

2. Перспективные направления развития технологий обогащения вольфрамсодержащих руд и техногенных образований / Шепета Е.Д., Саматова Л.А., Воронова О.В. // Горный журнал. – 2018. – №10. – С. 67-71.

3. Prospect of preliminary beneficiation use in the poor tungsten ores processing practice / Shepetka E.D., Samatova L.A., Alushkin I.V., Yushina T.I. // Non-Ferrous Metals. – 2016. – №1. – С. 9-15.

4. Tomra's mineral and ore sorting equipment for more profit [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.tomra.com/ru-ru/sorting/mining/> (дата обращения: 15.01.2019).

5. Mineral sorting [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.redwave.com/en/mining/> (Дата обращения: 25.01.2019).

6. Use ore sorting equipment to concentrate ores and cut process costs [Электронный ресурс]. – URL: <https://steinertglobal.com/mining/ore-sorting/> (дата обращения: 25.01.2019).

7. Evaluation of bulk and particle sensor-based sorting systems for the New Afton block caving operation / Nadolski S., Samuels M., Klein B., Hart C. // Minerals Engineering. – 2018. – Vol.121 – P. 169-179.

8. Bridging the gap: Understanding the economic impact of ore sorting on a mineral processing circuit / Lessard J., Sweetser W., Bartram K., Figueira J., McHugh L. // Minerals Engineering. – 2016. – Vol.91 – P. 92-99.

9. State-of-the-art-technology in ore mining [Электронный ресурс]. – URL: https://www.at-minerals.com/en/artikel/at_State-of-The-Art-Technology_in_Ore_Mining_1852781.html (дата обращения: 20.03.2019).

10. Separating impurities from quartz [Электронный ресурс]. – URL: https://www.at-minerals.com/en/artikel/at_Separating_impurities_from_quartz_1852565.html (дата обращения: 20.03.2019).

11. Способ кусковой сепарации руд. Авторы: Коновалов Г.Н., Наумов М.Е.. Патентообладатель: ОАО «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии». Патент RU2569528C1. Опубликовано: 27.11.2015, Бюл. №33.

12. Characterising Energy Efficiency of Particle Sorting / Ballantyne G.R., Hilden M., Bartram K., Souto V. // 14th AusIMM Mill Operators' Conference, Brisbane, Australia, 29-31 August 2018.

13. Радиометрический сепаратор. Авторы: Терещенко С.В., Ежов А.А., Власов Б.А., Павлишина Д.Н. Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук. Патент RU2662828C1. Опубликовано: 31.07.2018, Бюл. № 22.

14. Предконцентрация некондиционных руд на основе рентгенолюминесцентных свойств кальцийсодержащих минералов. / Терещенко С.В. // Дисс.

канд. техн. наук (25.00.13). – Владикавказ. – 1991. – 202 с.

15. Радиометрические методы опробования и сепарации минерального сырья / Терещенко С.В., Денисов Г.А., Марчевская В.В. // Санкт-Петербург: Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы (МАНЭД), 2005. – 264 с.

16. Оборудование. Сепараторы. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.egont.ru/> (Дата обращения: 22.01.2019).

17. Услуги. Рентгенорадиометрические сепараторы. [Электронный ресурс]. – URL: <http://technogen-group.ru/> (Дата обращения: 22.02.2019).

Darya N. Shibaeva, C. Sc. in Engineering, Researcher, Pavel A. Shumilov, Researcher, Viktor V. Bulatov, Engineer, Sergei V. Tereshchenko, Dr. Sc. in Engineering, Head of laboratory

Mining Institute Kola Science Centre RAS, Russia, 184209, Apatity, Murmansk region, Fersman st. 24

DETERMINATION OF THE BOUNDARY CAPACITY OF A RADIOMETRIC SEPARATOR USING IMMITATION MODELING

Abstract: The article structures the factors influencing the capacity of radiometric separators. The examples of existing Russian and foreign sorting equipment specimens are given. A model stand has been designed which simulates the work of principal units of a radiometric separator. The article describes the major principles to imitate the movement of a transporting device and controlling sensors and to form a signal stream of secondary radiation from the studied sample's surface and its registration with a photodetector. The article also presents the principles of the operation of a device for visualizing the level of a recorded signal and a device for processing and generating a control signal to the actuator.

The assessment was made of the processing velocity of the recorded stream of secondary radiation from the surface of the sample and the generation of a command for the actuator. The result has been analysed of the passage time of an ore piece through the irradiation and registration zone for the Khibiny apatite-containing ores. It was established that the registration of the apatite's luminescence intensity for a 2 ms time is a sufficient condition for its effective separation from the mineral mixture. The calculated boundary value of the luminescent separator capacity is 119.2 t / h.

Keywords: radiometric separator, radiometric separator capacity, modelling, microcontrollers, signal processing velocity, apatite-containing ore, luminescence kinetics.

Article info: received June 01, 2019

DOI: 10.26730/1816-4528-2019-2-39-45

REFERENCES

1. ООО «KRASRADOS», ООО «RADOS». Posobie po rentgenoradiometricheskoy separacii [Elektronnyj resurs]. – URL: <http://www.rados.ru/index.php/ru/stati/82-posobie-po-rentgenoradiometricheskoy-separatsii/> (data obrashcheniya: 25.02.2019).
2. Perspektivnye napravleniya razvitiya tekhnologij obogashcheniya volframsoderzhashchih rud i tekhnogennyh obrazovanij / SHepeta E.D., Samatova L.A., Voronova O.V. // Gornyj zhurnal. – 2018. – №10. – S. 67-71.
3. Prospect of preliminary beneficiation use in the poor tungsten ores processing practice / Shepeta E.D., Samatova L.A., Alushkin I.V., Yushina T.I. // Non-Ferrous Metals. – 2016. – №1. – S. 9-15.
4. Tomra's mineral and ore sorting equipment for more profit [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://www.tomra.com/ru-ru/sorting/mining/> (data obrashcheniya: 15.01.2019).
5. Mineral sorting [Elektronnyj resurs]. – URL: <http://www.redwave.com/en/mining/> (Data obrashcheniya: 25.01.2019).
6. Use ore sorting equipment to concentrate ores and cut process costs [Elektronnyj resurs]. – URL:

<https://steinertglobal.com/mining/ore-sorting/> (data obrashcheniya: 25.01.2019).

7. Evaluation of bulk and particle sensor-based sorting systems for the New Afton block caving operation / Nadolski S., Samuels M., Klein B., Hart C. // Minerals Engineering. – 2018. – Vol.121 – P. 169-179.

8. Bridging the gap: Understanding the economic impact of ore sorting on a mineral processing circuit / Lessard J., Sweetser W., Bartram K., Figueira J., McHugh L. // Minerals Engineering. – 2016. – Vol.91 – P. 92-99.

9. State-of-the-art-technology in ore mining [Elektronnyj resurs]. – URL: https://www.at-minerals.com/en/artikel/at_State-of-The-Art-Technology_in_Ore_Mining_1852781.html (data obrashcheniya: 20.03.2019).

10. Separating impurities from quartz [Elektronnyj resurs]. – URL: https://www.at-minerals.com/en/artikel/at_Separating_impurities_from_quartz_1852565.html (data obrashcheniya: 20.03.2019).

11. Sposob kuskovoj separacii rud. Avtory: Konovalov G.N., Naumov M.E.. Patentobladatel': OAO «Vedushchij nauchno-issledovatel'skij institut

himicheskoy tekhnologii». Patent RU2569528C1. Opublikовано: 27.11.2015, Byul. №33.

12. Characterising Energy Efficiency of Particle Sorting / Ballantyne G.R., Hilden M., Bartram K., Souto V. // 14th AusIMM Mill Operators' Conference, Brisbane, Australia, 29-31 August 2018.

13. Radiometricheskij separator. Avtory: Tereshchenko S.V., Ezhov A.A., Vlasov B.A., Pavlishina D.N. Patentobladatel': Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe uchrezhdenie nauki Gornyj institut Kol'skogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. Patent RU2662828C1. Opublikовано: 31.07.2018, Byul. № 22.

14. Predkoncentraciya nekondicionnyh rud na osnovе rentgenoluminescentnyh svojstv

kal'cijsoederzhashchih mineralov. / Tereshchenko S.V. // Diss. kand. tekhn. nauk (25.00.13). – Vladikavkaz. – 1991. – 202 s.

15. Radiometricheskie metody oprobovaniya i separacii mineral'nogo syrya / Tereshchenko S.V., Denisov G.A., Marchevskaya V.V. // Sankt-Peterburg: Mezhdunarodnaya akademiya nauk ekologii, bezopasnosti cheloveka i prirody (MANED), 2005. – 264 s.

16. Oborudovanie. Separatory. [Elektronnyj resurs]. – URL: <http://www.egont.ru/> (Data obrashcheniya: 22.01.2019).

17. Uslugi. Rentgenoradiometricheskie separatory. [Elektronnyj resurs]. – URL: <http://technogen-group.ru/> (Data obrashcheniya: 22.02.2019).

Библиографическое описание статьи

Шибаева Д.Н., Шумилов П.А., Булатов В.В., Терещенко С.В. Определение граничной производительности радиометрического сепаратора с использованием имитационного моделирования // Горное оборудование и электромеханика – 2019. – № 2 (142). – С. 39-45.

Reference to article

Shibaeva D.N., Shumilov P.A., Bulatov V.V., Tereshchenko S.V. Determination of the boundary capacity of a radiometric separator using immitation modeling. Mining Equipment and Electromechanics, 2019, no. 2 (142), pp. 39-45.