



Научная статья

DOI 10.22363/2312-8143-2019-20-1-20-27

УДК 67-08

Применение универсального ультразвукового реактора для переработки концентратов руд редкоземельных металлов

М.Ю. Малькова*, А.Н. Задиранов†

Российский университет дружбы народов, *Российская Федерация, 117198, Москва, Миклухо-Маклая, 6*

История статьи:

Поступила: 16 декабря 2018

Доработана: 25 января 2019

Принята: 29 января 2019

Ключевые слова:

редкоземельные элементы;

концентрат;

выщелачивание;

ультразвуковой реактор;

проточная камера

В последние годы в тяжелой промышленности стремительно возрос интерес к редкоземельным металлам (РЗМ). Одновременно поставлены новые задачи по полноте извлечения и качеству (чистоте) самих РЗМ. Обеспечение новых требований к качеству РЗМ может быть достигнуто двумя современными методами переработки руды. Первый способ — традиционное выщелачивание, но с применением современных ультразвуковых реакторов проходного типа отечественного производства. Второй способ — выщелачивание с применением дорогих импортных импрегнированных сорбентов, требующих специальной утилизации после проведения процесса осаждения нужной фракции материала. Недостатком ультразвуковых аппаратов для обработки РЗМ руд является то, что назначенные параметры рабочей камеры (длина и диаметр) рассчитываются для конкретного вида обрабатываемой руды, поэтому действующие в металлургической промышленности ультразвуковые реакторы нельзя применять для обработки всех видов руд РЗМ.

Целью работы является изучение эффективности переработки концентратов руд, содержащих редкоземельные элементы, методом выщелачивания с применением универсального ультразвукового реактора, пригодного для переработки различных концентратов, содержащих редкоземельные элементы. В работе щелочная обработка руды осуществляется в ультразвуковом реакторе специальной конструкции, допускающей регулирование размеров рабочего пространства реактора. Это позволяет осуществлять настройку реактора на высокоэффективную обработку руды при различной исходной концентрации ценных компонентов. Как показали результаты проведенных экспериментов, извлечение РЗМ и других ценных компонентов руды в ультразвуковом реакторе такой конструкции составляет не менее 98,3 %.

Введение

С каждым годом в различных областях науки и техники все в больших количествах применяются

редкоземельные элементы (РЗЭ) [1—5]. Особенно отчетливо эта тенденция проявляется в последние 10—15 лет. В указанный период мировой рынок РЗЭ увеличился более чем в 1,5 раза: с 80,0 тыс. т в

* Профессор департамента строительства, Инженерная академия, д.т.н., профессор; marianna300@yandex.ru

† Профессор департамента строительства, Инженерная академия, д.т.н., профессор

© Малькова М.Ю., Задиранов А.Н., 2019



2000 году до 130,0 тыс. т в настоящее время. При этом прогнозируется, что к 2020 году объем мирового спроса на РЗЭ вырастет еще больше и составит порядка 185 тыс. т.

Столь быстрый рост потребления обусловлен многими уникальными физическими и химическими свойствами РЗЭ и их соединений оптического, магнитного, электрического характера и др. Постоянно растет поток научно-технических исследований по практическому использованию материалов, содержащих редкоземельные элементы, что стимулирует дальнейшее быстрое развитие производства РЗЭ и материалов на их основе. Это в свою очередь в значительной мере характеризует уровень развития науки и техники страны, особенно новейших высокотехнологичных отраслей, таких как электроника, приборостроение, авиакосмическая, оборонная, машиностроительная промышленность.

В этой связи насущной потребностью сегодняшнего дня является разработка высокоэффективных технологий и комбинированных схем переработки различного сырья, содержащего РЗЭ, с тем чтобы достойным образом конкурировать с ведущими фирмами мира в создании РЗЭ высокой чистоты [6–10].

Известно [11–18], что при гидрометаллургической обработке чистота РЗЭ и их наиболее полное извлечение из руд и концентратов обусловлено аппаратурой, предназначенной для этих целей. В последние годы при проведении процесса выщелачивания (как головной операции переработки руд, содержащих РЗЭ) широко применяют аппараты ультразвуковой проточной обработки сырья [19–21]. Эти аппараты призваны обеспечить наименьшие потери РЗЭ при их извлечении в раствор. Они надежно себя зарекомендовали, хотя имеют существенные недостатки. Например, габаритные размеры (длина и диаметр камер) рассчитываются для конкретного вида обрабатываемой среды (руды), что исключает возможность применения ультразвуковых устройств для одинаково эффективной обработки различных сред.

Существует два пути решения данной задачи. Первый заключается в необходимости пристраивания к работающему аппарату дополнительных камер, что резко усложняет его конструкцию и эксплуатацию. Другой путь связан с разработкой универсальных устройств, способных эффективно перерабатывать различные типы концентратов руд, содержащих РЗЭ. Второму направлению поиска посвящена настоящая работа.

Целью исследования является изучение эффективности переработки концентратов руд, содержащих РЗЭ, методом выщелачивания с применением универсального ультразвукового реактора, пригодного для переработки различных концентратов, содержащих РЗЭ.

1. Материалы и методы

В работе использовалось специальное устройство, представляющее собой проточную камеру ультразвукового реактора, выполненную в виде полого цилиндра с возможностью размещения внутри нее стержня излучателя ультразвуковых колебаний. Камера также содержит входной и выходной патрубки, предназначенные для подачи суспензии сырья и извлечения из нее готового продукта. Для стабилизации надежной работы камеры внутрь нее вставлена цилиндрическая втулка, а в нижней части камеры установлены диск со сквозным отверстием в центре и кольца, расположенные одно над другим и фиксирующие положение втулки и диска в продольном направлении.

Техническим результатом такой конструкции является возможность регулирования размеров рабочего пространства проточной камеры, а вместе с ней и размеров рабочего пространства ультразвукового реактора, что позволяет в различных вариантах настройки использовать камеру для обработки различных видов природного и техногенного минерального сырья с высокой степенью извлечения ценных компонентов.

На рисунке схематично представлены различные варианты настройки (подготовки) устройства к работе.

Так, из представленного на рисунке варианта *a* видно, что проточная камера (1) располагается между нижними (2) и верхними (3) фланцами ультразвукового реактора, внутри нее расположен излучатель ультразвуковых колебаний, выполненный в виде стержня переменного сечения (4). Излучатель (4) соединен с источником ультразвуковых колебаний (5). Камера содержит входной патрубок (6) для подачи суспензии сырья (руды) и выходной патрубок (7) для извлечения готового продукта из камеры. Вдоль внутренней поверхности проточной камеры установлена втулка (8). Снизу камеры установлены друг на друга кольца (9) и диск (10) со сквозным отверстием по центру (11) таким образом, что диск (10) зафиксирован между четвертым кольцом снизу и вторым кольцом сверху.

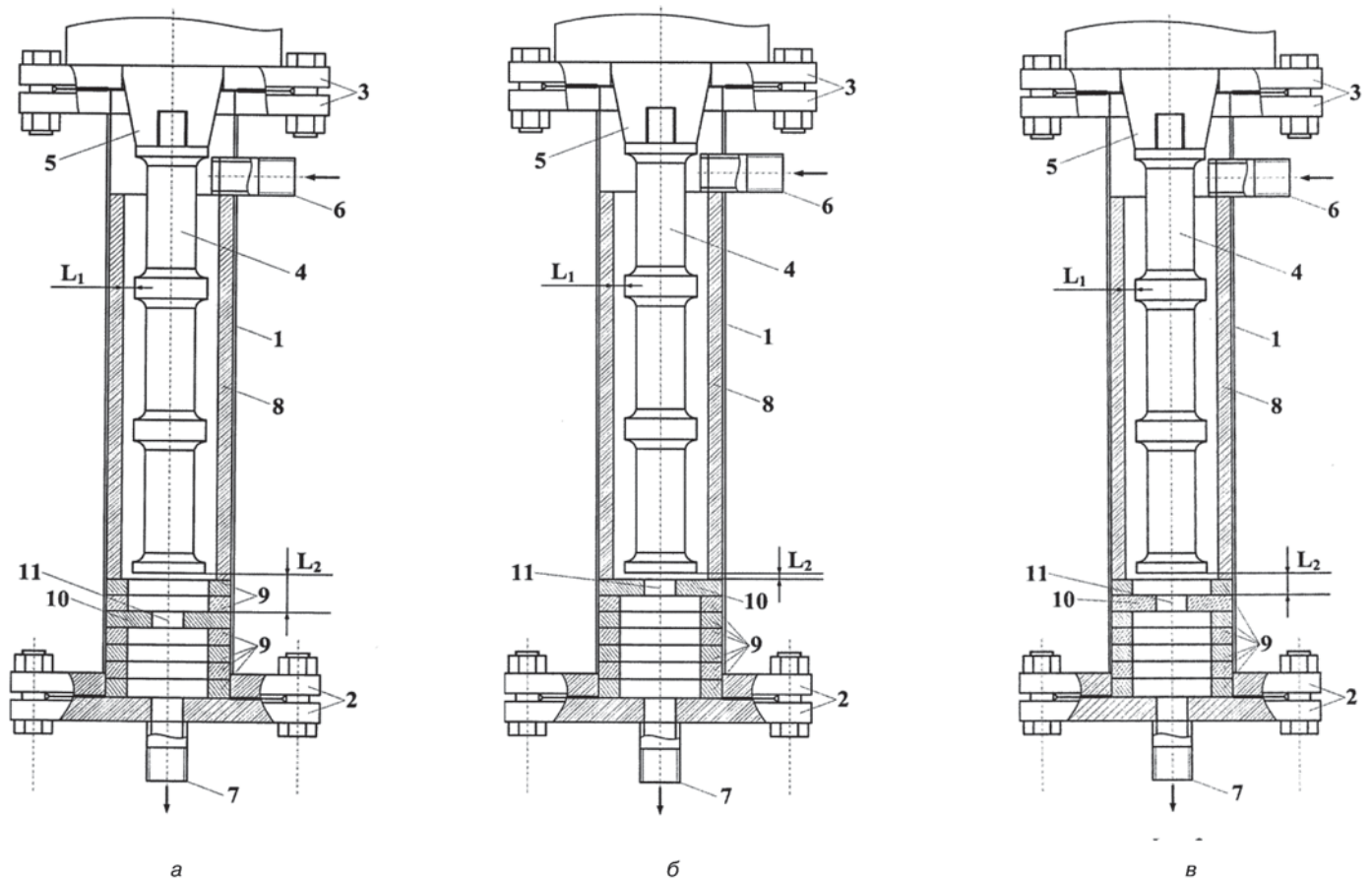


Рисунок. Варианты настройки ультразвукового реактора
[Figure. Variants of tuning of an ultrasonic reactor]

Нижняя часть втулки (8) опирается на верхнее кольцо. Кольца (9) и диск (10) зафиксированы между собой с помощью разъемного соединения «выступ-паз». Диаметр сквозного отверстия (11) диска (10) равен внутреннему диаметру выходного патрубка (7).

Вариант б демонстрирует второй способ настройки устройства, при котором проточная камера (1) ультразвукового реактора содержит втулку (8) и шесть колец (9), установленных друг на друга, поверх которых размещен диск (10) со сквозным отверстием (11). Диаметр сквозного отверстия (11) диска (10) равен внутреннему диаметру выходного патрубка (7). Нижняя часть втулки (8) опирается на диск (10).

По третьему варианту (в) подготовки устройства к работе проточная камера (1) ультразвукового реактора, содержащая втулку (8), установленные друг на друга кольца (9) и диск (10) со сквозным отверстием (11), расположена таким образом, что диск зафиксирован между пятым снизу и первым сверху кольцами (9). Диаметр сквозного отверстия (11)

диска (10) равен внутреннему диаметру выходного патрубка (7). Нижняя часть втулки (8) опирается на верхнее кольцо (9).

При подготовке камеры к работе в ее нижней части на фланец (2) устанавливают одно над другим кольца (9) и диск (10) со сквозным отверстием в центре (11). В камеру вставляется втулка (8), нижняя часть которой опирается на верхнее кольцо (9) (варианты а, в) или диск (10) (вариант б). Кольца и диск содержат на прилегающих плоскостях, ближе к внешнему краю, кольцевые канавки и выступы прямоугольной формы, соответственно за счет которых осуществляется жесткая фиксация колец и диска между собой.

Как правило, общая высота стопы колец с диском должна оставаться постоянной, чтобы не изменять длину втулки, установленной на стопу. Это дешевле и проще, чем изготавливать каждый раз втулку разной длины. При этом положение диска (10) в продольном направлении можно изменять, устанавливая его вместо одного из колец.

Посредством втулки (8), которая может иметь разную толщину, изменяют размеры рабочего пространства для прохождения обрабатываемой суспензии вдоль стержня излучателя (4), а посредством диска (10), который можно переставлять в продольном направлении, изменяют рабочее пространство камеры снизу. При этом во избежание пробоя минимальное расстояние от диска до торца стержня излучателя составляет 5–10 мм.

Процесс осуществляют следующим образом. Для получения суспензии (пульпы) руды в обогреваемую емкость заливают щелочную жидкость, включают механическую мешалку и засыпают в нее синтезируемые компоненты. Подают пульпу через входной патрубков (6) и насосом прокачивают ее в режиме рециркуляции через проточную камеру (1) ультразвукового реактора. В проточной камере (1) компоненты пульпы подвергаются интенсивному ударно-волновому акустическому воздействию с частотой колебаний 18–22 кГц, приводящему к диспергированию, обновлению поверхности и быстрому протеканию массообменных процессов. Ультразвуковая обработка пульпы способствует образованию трещин на твердых частицах, а при последующем соударении частиц к их раскалыванию и сдиранию природных пленок. Это открывает доступ выщелачивающего агента к частицам извлекаемого компонента. По окончании процесса растворения/выщелачивания готовый продукт (раствор или суспензию) откачивают насосом через выходной патрубков (7) в емкость-накопитель или направляют на фильтрацию.

Поскольку появилась возможность регулирования размеров рабочего пространства проточной камеры, экспериментально размеры подбирают таким образом, чтобы при неизменной мощности ультразвукового излучателя интенсивность акустического воздействия на различные виды суспензий возрастала. При этом достигается высокая степень извлечения ценных компонентов в раствор.

2. Результаты экспериментов

Рассмотрим результаты экспериментов по ультразвуковой обработке (выщелачиванию) нескольких видов руд с использованием проточной камеры. В экспериментах была использована проточная камера ультразвукового реактора и втулка, выполненные из труб стандартного диаметра, материал — нержавеющая сталь (либо материал, стойкий к обра-

батываемой суспензии). При этом внутренний диаметр проточной камеры составлял 90 мм, длина — 453 мм, длина стержня излучателя — 318 мм, диаметр — 34–50 мм. Кольца (9) и диск (10) имели толщину 10 мм. Эксперименты проводили подбором оптимального размера рабочего пространства проточной камеры. Опишем каждый из примеров выщелачивания.

Пример 1. Выщелачивание фосфатной редкоземельной руды раствором едкого натра.

В стальной обогреваемый реактор заливают 6 л раствора едкого натра с концентрацией 450 г/л. Раствор нагревают до 110–115 °С. При тщательном перемешивании в раствор подают 2000 г фосфатной редкоземельной руды крупностью менее 0,1 мм, составом (%): P_2O_5 — 22,1; Al_2O_3 — 14,4; сумма редкоземельных оксидов — 19,8. Через входной патрубков (6) в проточную камеру (1) подают суспензию со скоростью 1 л/мин.

Выщелачивание суспензии проводят по 5 мин в режиме с ультразвуковой обработкой материала. Общее время выщелачивания составляет 90 мин. После этого пульпа подается на фильтр. Снятый с него твердый остаток (кек) промывают горячей водой, сушат и отправляют на анализ.

Пример 2. Выщелачивание урана из аргунского концентрата раствором карбоната натрия.

В стальной обогреваемый реактор заливают 6 л раствора карбоната натрия с концентрацией 100 г/л. Раствор нагревают до 70 °С. При тщательном перемешивании в раствор подают 600 г концентрата крупностью менее 0,2 мм, составом (%): U — 0,72; Mo — 0,18; SiO_2 — 40,0; CaO — 24,0; MgO — 11,4; Fe — 2,2; Al_2O_3 — 0,8; S — 0,4; Zn — 0,18; P_2O_5 — 0,07. Через входной патрубков (6) в проточную камеру (1) подают суспензию со скоростью 1 л/мин. Выщелачивание суспензии проводят по 5 мин в режиме с ультразвуковой обработкой материала. Общее время выщелачивания составляет 45 мин. После этого пульпа подается на фильтр. Снятый с него твердый остаток (кек) промывают горячей водой, сушат и отправляют на анализ.

Пример 3. Выщелачивание урана из браннеритового концентрата раствором карбоната натрия.

В стальной обогреваемый реактор заливают 6 л раствора карбоната натрия с концентрацией 50 г/л. Раствор нагревают до 70 °С. При тщательном перемешивании в раствор подают 600 г браннеритового концентрата крупностью менее 0,3 мм, составом (%): U — 0,22; SiO_2 — 57,9; TiO_2 — 1,2; Al_2O_3 — 10,8;

Fe_2O_3 — 3,5; FeO — 1,5; S — 0,4; MnO — 0,12; MgO — 1,8; Na_2O — 1,6; K_2O — 6,6; P_2O_5 — 0,5; CaF_2 — 1,0; $CaCO_3$ — 9,0; S — 3,2. Через входной патрубок (6) в проточную камеру (1) подают суспензию со скоростью 1 л/мин. Выщелачивание суспензии проводят по 10 мин в режиме с ультразвуковой обработкой материала. Общее время выщелачивания составляет 90 мин. После этого пульпа подается на фильтр. Снятый с него твердый остаток (кек) промывают горячей водой, сушат и отправляют на анализ.

По результатам химического анализа оценивали степень извлечения ценных компонентов в раствор. Данные представлены в таблице.

Таблица

Выщелачивание различных концентратов

№	Концентрат	Условия выщелачивания			Извлечение в раствор, %	Степень извлечения в раствор, %	
		t, мин	L ₁ , мм	L ₂ , мм		P ₂ O ₅ /Al ₂ O ₃	U
1	фосфатный	90	15/5	25/5	P ₂ O ₅ /Al ₂ O ₃	3/96	5/98
2	аргунский	45	10/5	5/5	U	4,5	7,5
3	браннеритовый	90	15/10	5/5	U	6,3	8,3

Table

Leaching of various concentrates

№	Concentrate	Leaching conditions			Extraction in solution, %	Degree of extraction in solution, %	
		t, min	L ₁ , mm	L ₂ , mm		P ₂ O ₅ /Al ₂ O ₃	U
1	phosphate	90	15/5	25/5	P ₂ O ₅ /Al ₂ O ₃	3/96	5/98
2	argun	45	10/5	5/5	U	4.5	7.5
3	brannerite	90	15/10	5/5	U	6.3	8.3

3. Обсуждение

Как видно из таблицы, использование ультразвукового воздействия на процесс выщелачивания в проточной камере фосфатного концентрата обеспечивает следующую степень извлечения ценных компонентов в раствор: P_2O_5 = 93—95 %; Al_2O_3 = 96—98 %. При этом указанную степень извлечения ценных компонентов в раствор обеспечивают размеры рабочего пространства проточной камеры, равные: L_1 = 5—15 мм, L_2 = 5—25 мм.

При выщелачивании аргунского концентрата в проточной камере с указанными размерами ее рабочего пространства степень извлечения урана в раствор составила 94,5—97,2 %. При этом установлены оптимальные размеры рабочего пространства

проточной камеры: L_1 = 5—10 мм, L_2 = 5—15 мм, обеспечивающие наиболее высокие показатели процесса по степени извлечения урана в карбонатный раствор.

Выщелачивание браннеритового концентрата в проточной камере обеспечивает степень извлечения урана в раствор на уровне 96,3—98,3 %. При этом оптимальные размеры ее рабочего пространства, обеспечивающие максимальный выход урана в карбонатный раствор, составляют L_1 = 10—15 мм, L_2 = 5—15 мм.

Таким образом, применение проточной камеры ультразвукового реактора для обработки различных составов суспензий позволяет извлекать в раствор от 93 до 98,3 % ценных компонентов минерального сырья. Применяемый в работе аппарат защищен патентом (полезная модель) Российской Федерации [22].

Выводы

В ходе исследования предложен и испытан аппарат ультразвуковой проточной обработки рудного сырья (концентрата), содержащего РЗЭ. Установлены оптимальные режимы работы устройства, обеспечивающие его стабильное функционирование при выщелачивании РЗЭ из различных сред.

Экспериментально установлена высокая эффективность использования устройства при выщелачивании различных типов концентратов (фосфатного, аргунского и браннеритового). Показано, что степень извлечения P_2O_5 , Al_2O_3 и урана в раствор при выщелачивании данных концентратов составляет не менее 93,0—98,3 %.

Список литературы

[1] Каблов Е.Н., Волкова Е.Ф., Филонова Е.В. Влияние РЗЭ на фазовый состав и свойства нового жаропрочного магниевое сплава системы Mg — Zn — Zr — РЗЭ // *Металловедение и термическая обработка металлов.* 2017. № 7 (745). С. 19—26.

[2] Каблов Д.Е., Сидоров В.В., Мин П.Г., Пучков Ю.А. Влияние поверхностно-активных примесей и добавки лантана на структуру и свойства монокристаллического жаропрочного никелевого сплава ЖС36 // *Труды ВИАМ.* 2017. № 4 (52). С. 2. dx.doi.org/10.18577/2307-6046-2017-0-4-2-2

[3] Тарасов В.П., Кутепов А.В., Хохлова О.В., Рябова А.В. Влияние оксидов Pr и Tb на магнитные параметры магнитотвердых материалов на основе сплава Pr — Ft — В // *Цветные металлы.* 2017. № 2. С. 86—90. doi: 10.17580/tsm.2017.02.14

- [4] Скупов А.А., Пантелеев М.Д., Иода Е.Н., Мовенко Д.А. Эффективность применения редкоземельных металлов для легирования присадочных материалов // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № 3 (48). С. 14–19. doi: 10.18577/2071-9140-2017-0-3-14–19
- [5] Грушин И.А., Скворцова С.В., Сперанский К.А., Демаков А.А., Мамонтова Н.А. Влияние дополнительного легирования гадолинием на структуру и свойства опытного жаропрочного титанового сплава в литом и деформированном состояниях // *Титан*. 2017. № 1 (55). С. 16–21.
- [6] Ануфриева С.И., Быховский Л.З., Рогожкин А.А. Минеральное редкоземельное сырье России и возможные технологии его переработки // *Актуальные вопросы добычи, производства и применения редкоземельных элементов в России. РЗМ-2013: материалы Всероссийской конференции по редкоземельным материалам*. Северск: Изд-во СТИ НИЯУ МИФИ, 2013. С. 21–22.
- [7] Дьяченко А.Н. Экономические модели развития РЗМ производства на базе комплексных месторождений // *Актуальные вопросы добычи, производства и применения редкоземельных элементов в России. РЗМ-2013: материалы Всероссийской конференции по редкоземельным материалам*. Северск: Изд-во СТИ НИЯУ МИФИ, 2013. С. 19–20.
- [8] Мелентьев Г.Б., Тарасов А.В. Перспективы развития промышленности редкоземельных металлов в России // *Цветная металлургия*. 2016. № 1. С. 54–61.
- [9] Каблов Е.Н., Оспенникова О.Г., Вершков А.В. Основа технологического развития России — редкие и редкоземельные металлы // *Новые подходы в химической технологии минерального сырья: тезисы докладов 2-й Российской конференции с международным участием, 3–6 июня 2013 г. Ч. 1*. СПб., 2013. С. 140–143.
- [10] Крюков В.А., Зубкова С.А. Реиндустриализация без своих РЗМ? // *ЭКО*. 2016. Т. 46. № 8. С. 5–24.
- [11] Kuzmin V.I., Pashkov G.L., Lomaev V.G., Voskresenskaya E.N., Kuzmina V.N. Combined approaches for comprehensive processing of rare earth metal ores // *Hydrometallurgy*. 2012. Vols. 129–130. Pp. 1–6.
- [12] Ермолаева В.Н., Михайлова А.В., Когарко Л.Н., Колесов Г.М. Выщелачивание редкоземельных и радиоактивных элементов из щелочных пород Ловозерского массива (Кольский полуостров) // *Геохимия*. 2016. № 7. С. 651–658. doi: 10.7868/S0016752516070049
- [13] Kuryshcheva V.V., Ivanova E.A., Prokhorov P.E. Extractors for rare-earth metals // *Chimica Techno Acta*. 2016. Vol. 3. No. 2. Pp. 97–120. doi: 10.15826/chimtech.2016.3.2.008
- [14] Юрасова О.В., Гасанов А.А., Харламова Т.А., Василенко С.А. Технология извлечения оксида церия (IV) из концентратов редкоземельных металлов с использованием методов электрохимического окисления и экстракции // *Цветные металлы*. 2016. № 3 (879). С. 42–49. doi: 10.17580/tsm.2016.03.07
- [15] Литвинова Т.Е. *Металлургия иттрия и лантаноидов* / Санкт-Петербургский государственный горный университет. СПб., 2012. 272 с.
- [16] Гедгагов Э.И., Тарасов А.В., Гиганов В.Г., Лунькова М.А. Разработка инновационной сорбционно-экстракционной технологии получения высокочистых (99,99 %) соединений редкоземельных металлов при переработке суммарных концентратов (на примере легкой группы) // *Цветные металлы*. 2017. № 8. С. 50–55. doi: 10.17580/tsm.2017.08.07
- [17] Герасимова Л.Г., Николаев А.И., Петров В.Б., Бычяня Ю.Г. Азотнокислородное разложение перовскита в присутствии фторсодержащего реагента // *Цветные металлы*. 2017. № 5. С. 50–53. doi: 10.17580/tsm.2017.05.07
- [18] Nechaev A.V., Sibilev A.S., Smirnov A.V., Shestakov S.V., Polyakov E.G. A rational approach to processing cerium-containing RAW materials // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2016. Vol. 50. No. 5. Pp. 863–866. doi: 10.1134/S0040579516050171
- [19] Патент RU 2403085 С1. Ультразвуковой проточный реактор / Ю.А. Борисов, Г.В. Леонов, В.Н. Хмелев, Д.С. Абраменко, С.С. Хмелев, А.В. Шалунов. 10.11.2010.
- [20] Патент RU 141803 U1. Аппарат ультразвуковой проточной обработки / В.Н. Хмелев, С.В. Левин, С.С. Хмелев, С.Н. Цыганок, Ю.М. Кузовников. 10.06.2014.
- [21] Патент RU 2228217 С1. Способ возбуждения акустических колебаний в текучей среде и устройство (варианты) для его осуществления / В.П. Терехин, Д.М. Пастухов, М.Е. Пастухов. 10.05.2004.
- [22] Патент на полезную модель RU 167656 U1. Проточная камера ультразвукового реактора / А.В. Бояринцев, В.Г. Гиганов, А.В. Гозиян, С.И. Степанов, М.Ю. Малькова, А.Н. Задиранов. 10.01.2017.

Для цитирования:

Малькова М.Ю., Задиранов А.Н. Применение универсального ультразвукового реактора для переработки концентратов руд редкоземельных металлов // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования*. 2019. Т. 20. № 1. С. 20–27. DOI 10.22363/2312-8143-2019-20-1-20-27

Application of the universal ultrasonic reactor in the processing of rare earth metal ores concentrates

Marianna Yu. Malkova*, Aleksandr N. Zadiranov†

Peoples Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117198, Russian Federation

Article history:

Received: December 16, 2018

Revised: January 25, 2019

Accepted: January 29, 2019

Keywords:

rare earths;
concentrate;
leaching;
ultrasonic reactor;
flowing camera

In recent years, heavy industry has rapidly increased interest in rare earth metals (REE). At the same time, new tasks on completeness of extraction and quality (purity) of REE are set. Providing new requirements for the quality of rare-earth metals can be achieved by two modern methods of ore processing. The first method is traditional leaching, but with the use of modern ultrasonic reactors of a through passage type of domestic production. The second method is leaching with the use of expensive imported impregnated sorbents that require special disposal after the deposition process of the desired fraction of material. The disadvantage of ultrasonic devices for processing of rare-earth metals is that the assigned parameters of the working chamber (length and diameter) are calculated for a specific type of ore being processed. Therefore, ultrasonic reactors operating in the metallurgical industry cannot be used to process all types of REE ores. The aim of the work is to study the efficiency of processing concentrates of ores containing rare earth elements by leaching using a universal ultrasonic reactor suitable for processing various concentrates containing rare earth elements. In this work, alkaline ore processing is carried out in an ultrasonic reactor of a special design, which allows regulation of the dimensions of the reactor working space this makes it possible to configure the reactor for highly efficient ore processing at different initial concentrations of valuable components. As shown by the results of the experiments, the extraction of rareearth metals and other valuable components of the ore in the ultrasonic reactor of this design is not less than 98.3%.

References

- [1] Kablov EN, Volkova EF, Filonova EV. Vliyaniye RZE na fazovyy sostav i svoystva novogo zharoprochnogo magnievolgo splava sistemy Mg — Zn — Zr — RZE [Effect of REE on the phase composition and properties of new refractory magnesium alloy of the Mg — Zn — Zr — REE system]. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov [Metal Science and Heat Treatment]*. 2017;7(745): 19—26. (In Russ.)
- [2] Kablov DE, Sidorov VV, Min PG, Puchkov YuA. Vliyaniye poverhnostno-aktivnykh primesej i dobavki lantana na strukturu i svoystva monokristallicheskogo zharoprochnogo nikelvolgo splava ZHS36 [The influence of surface-active impurities and the addition of lanthanum on the structure and properties of a single-crystal high-temperature nickel alloy ZhS36]. *Trudy VIAM [Proceedings of VIAM]*. 2017;4(52): 2. doi: 10.18577/2307-6046-2017-0-4-2-2 (In Russ.)
- [3] Tarasov VP, Kutepov AV, Khokhlova OV, Ryabova AV. Vliyaniye oksidov Pr i Tb na magnitnye parametry magnitotverdykh materialov na osnove splava Pr — Ft — B [Effect of oxides Pr and Tb on the magnetic parameters of magnetically hard materials based on the Pr — Ft — B alloy]. *Cvetnyye metally [Non-ferrous metals]*. 2017;(2): 86—90. doi: 10.17580/tsm.2017.02.14 (In Russ.)
- [4] Skupov AA, Panteleev MD, Yoda EN, Movenko DA. Effektivnost' primeneniya redkozemel'nykh metallov dlya legirovaniya prisadochnykh materialov [Efficiency of application of rare-earth metals for doping of filler materials]. *Aviacionnyye materialy i tekhnologii [Aviation materials and technologies]*. 2017;3(48): 14—19. doi: 10.18577/2071-9140-2017-0-3-14-19 (In Russ.)
- [5] Grushin IA, Skvortsova SV, Speransky KA, Demakov AA, Mamontova NA. Vliyaniye dopolnitel'nogo legirovaniya gadoliniey na strukturu i svoystva opytного zharoprochnogo titanovogo splava v litom i deformirovannom sostoyaniyah [Influence of gadolinium additional alloying on structure and properties of a pilot heat-resistant titanium alloy in cast and deformed state]. *Titan [Titanium]*. 2017;1(55): 16—21. (In Russ.)
- [6] Anufrieva SI, Bykhovsky LZ, Rogozhkin AA. Mineral'noe redkozemel'noe syr'e Rossii i vozmozhnyye tekhnologii ego pererabotki [Mineral rare-earth raw materials of Russia and possible technologies of its processing]. *Aktual'nye voprosy*

* Professor of Department of Construction, Academy of Engineering, Doctor of Technical Sciences; marianna300@yandex.ru

† Professor of Department of Construction, Academy of Engineering, Doctor of Technical Sciences

- dobychi, proizvodstva i primeneniya redkozemel'nykh elementov v Rossii. RZM-2013: materialy Vserossiiskoi konferentsiya po redkozemel'nykh materialam [Actual problems of mining, production and application of rare earth elements in Russia. RZM-2013: Proceedings of the All-Russian Conference on Rare Earth Materials]*. Seversk: STI NNIU MEPI Publ.; 2013. p. 21–22. (In Russ.)
- [7] Dyachenko AN. Ekonomicheskie modeli razvitiya RZM proizvodstva na baze kompleksnykh mestorozhdenij [Economic models for the development of REM production on the basis of complex deposits]. *Aktual'nye voprosy dobychi, proizvodstva i primeneniya redkozemel'nykh elementov v Rossii. RZM-2013: materialy Vserossiiskoi konferentsiya po redkozemel'nykh materialam [Actual issues of production, production and application of rare earth elements in Russia. RZM-2013: Proceedings of the All-Russian Conference on Rare Earth Materials]*. Seversk: STI NNIU MEPI Publ.; 2013. p. 19–20. (In Russ.)
- [8] Melentiev GB, Tarasov AV. Perspektivy razvitiya promyshlennosti redkozemel'nykh metallov v Rossii [Prospects of development of rare earth metals industry in Russia]. *Cvetnaya metallurgiya [Non-ferrous metallurgy]*. 2016;(1): 54–61. (In Russ.)
- [9] Kablov EN, Ospennikova OG, Vershkov AV. Osnova tekhnologicheskogo razvitiya Rossii — redkie i redkozemel'nye metally [The basis of technological development of Russia — rare and rareearth metals]. *Novye podkhody v khimicheskoi tekhnologii mineral'nogo syr'ya: tezisy dokladov 2-i Rossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, 3–6 iyunya 2013 g. [New approaches in the chemical technology of mineral raw materials: Abstracts of the 2nd Russian Conference with international participation, June 3–6, 2013]*. Part 1. Saint Petersburg; 2013. p. 140–143. (In Russ.)
- [10] Kryukov VA, Zubkova SA. Reindustrializatsiya bez svoih RZM? [Reindustrialization without its REE?]. *ECOjournal*. 2016;46(8): 5–24. (In Russ.)
- [11] Kuzmin VI, Pashkov GL, Lomaev VG, Voskresenskaya EN, Kuzmina VN. Combined approaches for the comprehension of rare earth metal ores. *Hydrometallurgy*. 2012;129–130: 1–6.
- [12] Ermolaeva VN, Mikhailova AV, Kogarko LN, Kolesov GM. Vyshchelachivanie redkozemel'nykh i radioaktivnykh elementov iz shchelochnykh porod Lovozerskogo massiva (Kol'skiy poluostrov) [Leaching of rare-earth and radioactive elements from alkaline rocks of the Lovozero Massif (Kola Peninsula)]. *Geohimiya [Geochemistry]*. 2016;(7): 651–658. doi: 10.7868/S0016752516070049 (In Russ.)
- [13] Kuryшева VV, Ivanova EA, Prokhorov PE. Extractors for rare-earth metals. *Chimica Techno Acta*. 2016;3(2): 97–120. doi: 10.15826/chimtech.2016.3.2.008
- [14] Yurasova OV, Hasanov AA, Kharlamova TA, Vasilenko SA. Tekhnologiya izvlecheniya oksida ceriya (IV) iz koncentratov redkozemel'nykh metallov s ispol'zovaniem metodov elektrohimicheskogo okisleniya i ekstrakcii [Technology for the extraction of cerium (IV) oxide from concentrates of rare earth metals using electrochemical oxidation and extraction methods]. *Cvetnye metally [Non-ferrous metals]*. 2016;3(879): 42–49. doi: 10.17580/tsm.2016.03.07 (In Russ.)
- [15] Litvinova TE. *Metallurgiya itriya i lantanoidov [Metallurgy of yttrium and lanthanides]*. Saint Petersburg State Mining University; 2012. (In Russ.)
- [16] Gedgagov EI, Tarasov AV, Giganov VG, Lunkova MA. Razrabotka innovacionnoj sorbcionno-ekstrakcionnoj tekhnologii polucheniya vysokochistykh (99,99%) soedinenij redkozemel'nykh metallov pri pererabotke summarnykh koncentratov (na primere legkoj gruppy) [Development of innovative sorption-extraction technology for obtaining high-purity (99.99%) compounds of rare earth metals during processing of total concentrates (for example, light group)]. *Cvetnye metally [Non-ferrous metals]*. 2017;(8): 50–55. doi: 10.17580/tsm.2017.08.07 (In Russ.)
- [17] Gerasimova LG, Nikolaev AI, Petrov VB, Bychenya YuG. Azotnokisloe razlozhenie perovskita v prisutstvii ftorsoderzhashchego reagenta [Nitric acid decomposition of perovskite in the presence of a fluorine-containing reagent]. *Cvetnye metally [Non-ferrous metals]*. 2017;(5): 50–53. doi: 10.17580/tsm.2017.05.07 (In Russ.)
- [18] Nechaev AV, Sibilev AS, Smirnov AV, Shestakov SV, Polyakov EG. A rational approach to processing cerium-containing REE materials. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2016;50(5): 863–866. doi:10.1134/S0040579516050171
- [19] Patent RU 2403085 C1. *Ul'trazvukovoj protochnyj reaktor [Ultrasonic flow reactor]*. Borisov YuA, Leonov GV, Khmelev VN, Abramenko DS, Khmelev SS, Shalunov AV. 10.11.2010. (In Russ.)
- [20] Patent RU 141803 U1. *Apparat ul'trazvukovoj protochnoj obrabotki [Apparatus for ultrasonic flow treatment]*. Khmelev VN, Levin SV, Khmelev SS, Tsyganok SN, Kuzovnikov YuM. 10.06.2014. (In Russ.)
- [21] Patent RU 2228217 C1. *Sposob vozbuzhdeniya akusticheskikh kolebanij v tekuchej srede i ustrojstvo (varianty) dlya ego osushchestvleniya [The method of excitation of acoustic oscillations in a fluid medium and the device (variants) for its implementation]*. Terekhin VP, Pastukhov DM, Pastukhov ME. 10.05.2004. (In Russ.)
- [22] Patent for utility model RU 167656U1. *Protochnaya kamera ul'trazvukovogo reaktora [Flow chamber of ultrasonic reactor]*. Boyarintsev AV, Giganov VG, Goziyan AV, Stepanov SI, Malkova MYu, Zadiranov AN. 10.01.2017. (In Russ.)

For citation

Malkova MYu, Zadiranov AN. Application of the universal ultrasonic reactor in the processing of rare earth metal ores concentrates. *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2019;20(1): 20–27. DOI 10.22363/2312-8143-2019-20-1-20-27 (In Russ.)