

Инженерно-технические науки

Engineering and technical sciences

УДК 622.7

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУСУХИХ И СУХИХ СПОСОБОВ ОБОГАЩЕНИЯ БЕДНЫХ ФОСФОРИТОВЫХ РУД

И.А. Беляев, И.В. Постникова

Ивановский государственный химико-технологический университет

В статье приводится сравнительный обзор полусухих и сухих способов обогащения бедных фосфоритовых руд. Показаны недостатки распространенных «мокрых» способов обогащения: экологическая вредность процесса (загрязняют отходами обогащения близлежащие водоемы), относительно высокая стоимость процесса (требует больших капитальных затрат на строительство сложных гидротехнических сооружений, высокий расход электроэнергии и большие расходы, связанные с обезвоживанием и сушкой продуктов обогащения). Сформулированы основные требования к вновь разрабатываемым технологиям обогащения. Рассмотрены основные сухие способы обогащения: радиометрическая сепарация, термическое обогащение, электрическая сепарация, выявлены их недостатки. Показано практическое применение данных методов. Проанализированы также перспективные технологии сухого обогащения, предложенные в последнее время, их конструктивное оформление

Ключевые слова: сухое обогащение, фосфоритовая руда, термическое разложение, измельчение, классификация.

Фосфорная кислота является одним из основных компонентов комбинированных удобрений, без которых невозможно выращивание полезных для человечества растений. Основным сырьём в производстве фосфорной кислоты служит фосфоритовая руда, которая отличается разнообразием состава. В ряде случаев содержащееся в руде фосфатное вещество близко к фторапатиту $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2]$. Из сопутствующих минералов наиболее часто встречаются кварц, глауконит, кальцит, доломит, халцедон, органическое вещество. При переработке природных фосфоритов важнейшим качественным показателем является содержание в них фосфатного вещества, выраженное в процентах P_2O_5 [1]. Содержание P_2O_5 во многих фосфоритовых рудах колеблется в

широком диапазоне от 8 до 20%, в то время как оптимальная технология производства фосфорной кислоты связана с необходимостью получения руды с содержанием P_2O_5 не менее 38%.

В настоящее время предложены и реализуются различные технологические схемы обогащения природных руд, содержащих фосфориты и апатиты. В мировой практике обогащения фосфоритовых руд можно выделить три способа: «мокрый», «сухой» и комбинированный. На сегодняшний день основным способом обогащения фосфоросодержащих руд является «мокрый» способ. В большинстве случаев в промышленности «мокрое» обогащение реализуется методами флотации и гравитации [1-6, 16], которые обладают рядом недостатков:

экологическая вредность процесса (загрязняют отходами обогащения близлежащие водоемы, поэтому их невозможно осуществлять вблизи рек и водоемов с чистыми водами); относительно высокая стоимость процесса (требует больших капитальных затрат на строительство сложных гидротехнических сооружений, высокий расход электроэнергии и большие расходы, связанные с обезвоживанием и сушкой продуктов обогащения).

К современным обогатительным технологиям должны предъявляться следующие требования: технологический процесс должен быть легко реализуем; быстрая окупаемость капитальных вложений; внедрение новых процессов обогащения не должно ухудшать экологическую обстановку региона. Поэтому особый интерес для изучения вызывают «полусухие» и «сухие» методы обогащения, которые в настоящее время применяются в промышленности достаточно редко, хотя и имеют свои преимущества. Рассмотрим некоторые из них.

Радиометрическая сепарация.

В настоящее время в практике переработки минерального сырья находят широкое применение радиометрические методы обогащения [2, 4, 5, 9, 14], которые позволяют решить сложные технологические задачи.

На стадии крупного и среднего дробления руды представляется возможным выделять отвалы крупные кусковые хвосты, получать готовые концентраты, делить руду на технологические типы, а также усреднять и кондиционировать руды по содержанию компонентов. Наиболее распространенным методом радиометрического обогащения является *фотометрическая сепарация*. Данный метод основан на

использовании различий в свойстве минералов отражать, пропускать или преломлять свет.

Поскольку при фотометрической сепарации требуется разделять не только мономинеральные куски, но и агрегаты полезных и сопутствующих минералов, то оптические системы сепараторов нередко конструируют с применением сканирующих устройств, так что свет поступает на датчик не сразу со всей поверхности куска руды, а последовательно с отдельных ее участков. Источником света могут служить лампы накаливания с вольфрамовой нитью и лампы с большим световым потоком. В качестве детекторов отраженного кусками руды света применяются фотоумножители.

В фотометрических сепараторах интенсивность отраженного света измеряется в условиях свободного падения кусков полезного ископаемого. В качестве сортирующего механизма используются пневматические клапаны, скорость срабатывания которых тем больше, чем мельче обрабатываемый класс. В сепараторах, предназначенных для обработки класса 320 мм, она достигает 200 раз в секунду. На рис.1 представлена принципиальная схема работы фотометрического сепаратора.

Руда из бункера (1) с помощью вибрационного питателя (2) подается на желобчатый ленточный конвейер (3), где куски руды располагаются цепочкой через определённые промежутки. Разгружаясь с ленточного конвейера, куски руды пролетают в свободном падении через оптическую камеру (4) с облучателями (5). Как только в оптическую камеру попадает кусок руды, отражательная способность которого отличается от

фона (7), из датчика (6) поступает электрический импульс в электронно-измерительный блок. Если интенсивность импульса будет превышать некоторую заданную величину, срабатывает пневматический клапан (8) и поток сжатого воздуха изменяет траекторию движения этого куска руды.

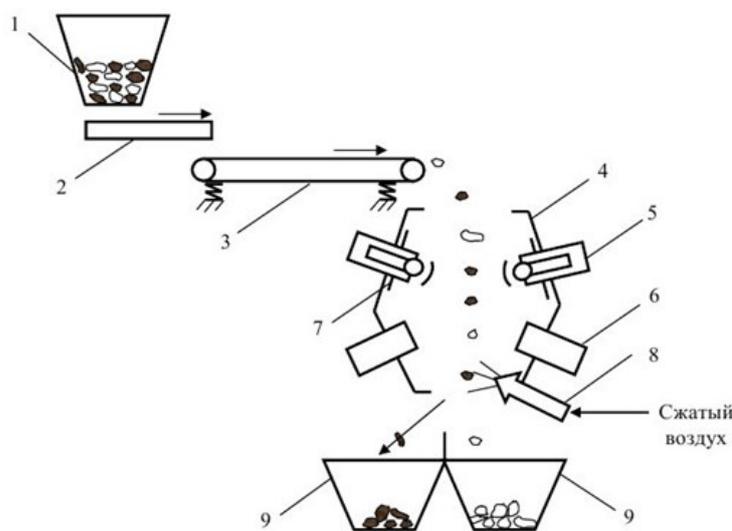


Рис. 1. Схема фотометрического сепаратора:

1 - бункер питания; 2 - вибрационный питатель; 3 - желобчатый ленточный конвейер; 4 - оптическая камера; 5 - узел облучения; 6 - узел регистрации импульсов; 7 - фоновая пластина; 8 - пневматический клапан; 9 - сборники продуктов

Практическое применение:
 фотометрическая сепарация фосфоритовой руды Белкинского месторождения на фотометрическом сепараторе позволила из проб бедной руды выделить до 40 % фракции, обедненной по полезному компоненту ($P_2O_5 = 1,4-1,8 \%$). При этом качество руды повысилось в 1,5 раза при извлечении P_2O_5 82 %. Из пробы рядовой руды выделено 20 % обедненной крупнокусковой фракции, в основном, в виде карбонатов. Качество руды повысилось до 10 % при извлечении 90 %, снизилось соотношение P_2O_5 и MgO.

Недостатки данного метода:

1. Небольшой коэффициент степени разделения минералов (степени обогащения руды), т.к. применяется на первых этапах переработки добытого сырья, когда оно еще не прошло стадию измельчения. В

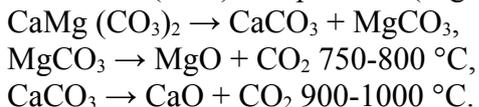
связи с этим метод используется главным образом для выделения из горной массы наиболее бедной части полезного ископаемого, удаляемой в отвал.

2. Время регистрации излучения данного способа составляет доли секунды (исходя из оптимальной производительности и экономически целесообразных размеров источника и всего аппарата). Помимо этого, все время изменяется расстояние между объемами (кусками) руды и источником и/или и детектором. По этим причинам погрешность в оценке содержания может достигать 25-50% и более, что и вызывает ложные срабатывания аппаратуры.

3. Быстрое запыление световых датчиков и, как следствие, отказ их работы.

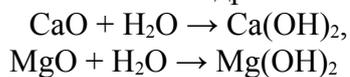
Термическое обогащение.
 Обогащение с использованием обжига

идёт по схеме: термическое разложение, гашение в воде окислов Ca и Mg, классификация. На процесс термохимического разрушения в большей степени влияют: температура процесса и продолжительность обжига [15]. Время обжига оптимизируется для каждого перерабатываемого класса. Доломит и кальцит при обжиге разлагаются с выделением углекислоты, давая твердые продукты в виде извести (CaO) и периклаза (MgO):



Обжиг часто осуществляется в печах с псевдооживленным слоем (рис. 2). Реакция разложения карбоната является эндотермической и сопровождается потерей в весе обжигаемой руды. Потери при прокаливании, в основном, слагаются из выделяющейся при диссоциации карбонатов углекислоты. Эти потери включают испаряющуюся воду, выгорающую органику, серу и частично фтор.

Гашение водой переводит окись кальция и магния в гидроксиды:



Обе реакции имеют экзотермический характер. Гидроксиды кальция и магния мало растворимы в воде. Объемный вес порландита ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) значительно больше объемного веса извести (CaO), т.е. при гашении увеличивается объем рудной массы.

Благодаря силам, возникающим при этом, расщепляются агрегаты, состоящие из зерен апатита, извести и периклаза, и создаются благоприятные условия для выделения отдельных зерен полезного минерала, т.е. происходит раскрытие сростков [2]. Вследствие термического разложения фторкарбоната апатита при обжиге образуется фторапатит с повышенным

содержанием фосфора в фосфатном веществе. Благодаря этому увеличивается предельно возможное содержание P_2O_5 в концентрате.

По количеству воды, добавляемой при гашении обожженного продукта, различают «сухое» и «мокрое» гашение.

В первом случае подается минимально возможное, почти стехиометрически необходимое количество воды, позволяющее получить гидроксид кальция в виде сухого порошка, удаляемого с помощью сухой классификации.

Во втором случае гашение производится с избытком подаваемой воды и получением суспензии. Этот вариант дает больший технологический эффект, но он сопряжен с возникающей проблемой складирования и утилизации большого количества мокрого тонкодисперсного шлама. В нем содержится значительное количество обогащенных фосфором частиц, извлечение которых весьма затруднительно [5]. Вследствие удаления воды, органического вещества и углекислого газа повышается содержание P_2O_5 на 2-3 %. Вместе с последующим выщелачиванием водорастворимых продуктов обжига это повышает содержание P_2O_5 в фосфатном материале от 25-28% до 33-35 %.

Практическое применение: в Египте бедные карбонатно-фосфатные руды после дробления и измельчения подвергаются промывке и классификации для отделения глинистого материала, после чего мытый продукт обжигается в печах кипящего слоя. Обожженный концентрат после вторичной промывки содержит 34 % P_2O_5 .

Недостатки данного метода:

1. Низкая степень обогащения (33-35%, тогда как на промышленных

предприятиях требуется иметь содержание P_2O_5 более 38%).

2. Использование данного метода требует дальнейшую промывку и, как следствие, требуется последующая энергозатратная сушка готового продукта.



Рис. 2. Печь с псевдооживленным слоем:

1 - бункер с питателем, 2 - воздухораспределительная решетка, 3 - псевдооживленный слой

Электрическая сепарация.

Электрическая сепарация применяется для классификации, обеспыливания и обогащения многих руд. Наиболее распространены электрические сепараторы со свободным падением (электростатические сепараторы) с предварительной электризацией дисперсного материала. Фосфоритовые руды многих месторождений состоят в основном из кварца и фосфата. Первый обладает свойствами диэлектрика, второй - полупроводника. Избирательная статистическая электризация компонентов фосфоритной руды является обязательным условием эффективного разделения минералов. Она может осуществляться нагреванием измельченного материала до определенной температуры и зависит от крупности и формы зерен, чистоты их поверхности и др. Для фосфоритов наиболее распространен метод сепарации в электрическом поле с предварительной зарядкой минералов. Кварц, апатит и фосфат так же, как и некоторые другие минералы, получают достаточные для сепарации

электростатические заряды в процессе перемешивания при нагревании и последующем охлаждении до определенной температуры. До обогащения сростки минералов должны быть раскрыты и самый тонкий материал (в основном глина) - отделен. Особо мелкие частицы проявляют тенденцию покрывать поверхность минералов во время предварительной сушки, что затрудняет электризацию трением.

Процесс осуществляется в трибоэлектрическом барабанном сепараторе (рис. 3). Он имеет зарядное устройство (3), отделенное от сепарирующей части. Зарядка минералов производится путем электризации трением в результате контакта минералов друг с другом. Разделение происходит в электростатическом неоднородном поле постоянной полярности напряженностью 2-4 кВ/см, создаваемой между металлическим заземленным барабаном (2) и цилиндрическим отклоняющим электродом (4), на который подается высокое напряжение

(15—50 кВ). Знак напряжения подбирается с учетом знака заряда,

приобретаемого минералами при электризации [2, 4, 7,9, 13].

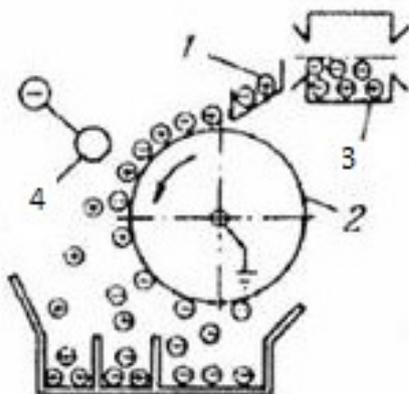


Рис. 3. Трибоэлектрический барабанный сепаратор:

1 – питатель, 2 – барабан (осадительный электрод), 3 – зарядное устройство, 4 – отклоняющий электрод

Практическое применение: при электростатической сепарации руды месторождения Маарду крупностью 0,8-0,1 мм, содержащей 11,4% P_2O_5 , был получен концентрат с 26,7% P_2O_5 при извлечении его до 80,2%.

Недостатки данного метода:

1. Эффективность процесса и качество продуктов сепарации ухудшаются при увеличении содержания пылевидных частиц в исходном материале.

2. Возникают большие проблемы при разделении руд широкого фракционного состава. С увеличением крупности частиц возрастает центробежная сила, отрывающая их от поверхности барабана. Это затрудняет четкое разделение зерен при сепарации материала широкого диапазона крупности. Крупная непроводящая частица при этом может оторваться от барабана одновременно с более мелкой проводящей частицей и, наоборот, очень тонкие проводящие частицы попадут в непроводящую фракцию.

3. При увеличении скорости вращения барабана можно повысить

производительность сепаратора, однако качество продуктов сепарации при этом ухудшается.

4. В полидисперсной смеси некоторые компоненты имеют такой же электростатический заряд, как и фосфорит, что осложняет процесс разделения.

Большой интерес для рассмотрения представляет собой способ обогащения карбонат-содержащего фосфатного сырья, предложенный Лившицом М.М. и др. [9]. Способ заключается в дроблении карбонат-содержащего фосфатного сырья, его обжиге, измельчении обожженного продукта в режиме одного удара при скорости движения частиц 15-55 м/с, сухой сепарации продукта измельчения с получением фосфатного концентрата. По мнению автора, этим способом можно повысить содержание P_2O_5 с 22,7% до 28,7%.

Для увеличения эффективности В.В. Кузьминым был разработан новый технологичный способ сухого обогащения рудных и нерудных

материалов [10], который включает подачу газа- энергоносителя и исходного материала в противоточную струйную мельницу, проведение селективного измельчения и обогащения обрабатываемого материала в помольной камере мельницы с выгрузкой трудноизмельчаемых частиц из камеры через выгрузатель, осуществление пневматической классификации продуктов помола в сепараторе мельницы с возвратом потока грубых фракций материала в помольную камеру на домол и с выведением смеси газа и тонкомолотых частиц материала в осадитель при дальнейшей очистке отработанного энергоносителя в пылеуловителе.

К перспективной идее для дальнейшего использования при обогащении фосфоритовых руд можно отнести патент [11], выданный на способ сухого обогащения мелких классов угля в ударно-упругостном сепараторе. Процесс обогащения (отделение угольных фракций от породы) происходит вследствие различия упругости угольных и породных частиц. Обогащение происходит в ударно-упругостном сепараторе, который одержит разгрузочное устройство продуктов обогащения, бункеры для продуктов обогащения, раму с закрепленной на ней двухсторонней двухстадийной роликовой системой вращающихся с определенной скоростью роликов. Над роликами установлены по всей ширине отбойные плиты с зазорами, соответствующими крупности обогащаемого угля. Данным методом удается обогатить частицы угля классов 1,5-2,5 и 2,5-6 мм.

Предложено устройство для сухого обогащения минерального сырья [12]. Устройство содержит узел измельчения материала до требуемой крупности, приспособление для подачи

измельченных частиц с использованием сжатого воздуха на блок сепарации, использующий разную степень сопротивления движению частиц в воздухе. Для измельчения исходного сырья до требуемой крупности и узкого гранулометрического распределения используются диски встречного вращения с динамической кольцевой щелью. Для выпуска измельченных частиц в воздушную среду под давлением используется трубка с соплом, формирующая узкий пучок частиц. Для сбора частиц разной плотности или группы частиц, близких по плотности, используются отверстия, расположенные в местах максимального разделения частиц разной плотности. Техническим результатом является повышение эффективности обогащения минерального сырья. Данное изобретение может использоваться при обогащении фосфоритовых руд.

Заключение:

1. «Полусухие» и «сухие» способы обогащения представляют большой интерес в связи с меньшими удельными энергозатратами, по сравнению с «мокрыми» методами обогащения.

2. Предложенные способы «сухого» обогащения на практике, к сожалению, не позволяют получить обогащенную руду с высоким содержанием концентрата P_2O_5 (более 38-40%).

3. Необходимо разрабатывать новые экономичные технологии «сухого» обогащения, позволяющие получить обогащенную руду с заданной промышленностью степенью обогащения в районах, в которых невозможно осуществить «мокрое» обогащение, из-за большой опасности загрязнения источников чистой воды поверхностно-активными веществами (ПАВ) (например, вблизи озера Байкал

располагаются большие залежи фосфоритовой руды, которые невозможно обогатить «мокрым» способом).

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов А.А. Флотационные методы обогащения. М.: Изд-во МГГУ, 2008. 710 с.
2. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. М.: Изд-во ММГУ, 2001. 472 с.
3. Авдохин В. М. Основы обогащения полезных ископаемых: учеб. для вузов: в 2 т. Т. 2: Технология обогащения полезных ископаемых. М.: Изд-во ММГУ, 2006. 310 с.
4. Авдохин В. М. Основы обогащения полезных ископаемых: учеб. для вузов: в 2 т. Т. 1: Обогащительные процессы. М.: Изд - во ММГУ, 2006. 417 с.
5. Брагина В.И., Брагин В.И. Технология обогащения горно-химического сырья. Красноярск: ГАЦМЗ, 1995. 195 с.
6. Богданов О.С. Справочник по обогащению руд. Том 2. Основные процессы. М.: Недра, 1983. 387с.
7. Кармазин В.В., Кармазин В.И. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых. М.: Изд-во МГГУ, 2005. 669 с.
8. Лагов Б. С. Система информационной рудоподготовки на базе радиометрических процессов - путь в XXI век // Развитие идей И.М. Плаксина в области обогащения полезных ископаемых и гидрометаллургии: тезисы докладов юбилейных Плаксинских чтений (10-14 октября 2000 г.). М. : 2000. С. 82-84.
9. Авторское свидетельство №1668292. Лившиц М.М., Марказен З.М., Сыркин Л.Н. и др. Способ обогащения карбонат-содержащего фосфатного сырья // Б.И. № 29, 1991
10. Патент № 2403097. Кузьмин В.В., Кузьмина Т. А. , Мордовский А. А. , Балмаев Б.Г. Способ сухого обогащения рудных и нерудных материалов и противочная струйная мельница // Дата публикации патента: 10.11.2010
11. Патент № 2609271. Химич М.С., Демерджи Р. Г., Найда С. В., Саркисов Г. Р., Поддубняк А. Г. Ударно-упругостный сепаратор для обогащения мелких классов угля сухим способом // Дата публикации патента: 01.02.2017
12. Патент № 2472593. Шеленин А.В., Устройство для сухого обогащения минерального сырья// Дата публикации патента: 20.01.2013.
13. Пелевин А. Е. Магнитные и электрические методы обогащения: Учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2003. 157 с.
14. Самойлик В. Г. Специальные и комбинированные методы обогащения полезных ископаемых: учебное пособие. Донецк: ДонНТУ, 2015. 164 с.
15. Турсбекова Г.Ж. Исследование процесса обжига фосфоросодержащего сырья // Вестник КРСУ. 2012. Том 12. № 6. С.133-137.
16. Шохин В.Н., Лопатин А.Г. Гравитационные методы обогащения. М.: Недра, 1994. 350 с.

*Рукопись поступила в редакцию
03.07.2017*

SEMI-DRY AND DRY METHODS FOR ENRICHING OF POOR PHOSPHORITE ORES

I. Belyaev, I. Postnikova

In article the comparative review of semi-dry and dry methods for enriching of poor phosphorite ores is resulted. Lacks of widespread "wet" methods of enriching are shown: ecological harm of process (pollute an enrichment waste nearby reservoirs), rather high cost of process (demands the big capital expenses for building of difficult hydraulic engineering constructions, the high expense of the electric power and the heavy expenses, connected with dehydration and drying of products of enrichment). The basic requirements to again developed technologies of enrichment are formulated. The basic dry methods of enrichment are considered: radiometric separation, thermal enrichment, electric separation, their lacks are revealed. Practical application of the given methods is shown. The perspective technologies of dry enrichment, offered recently, their constructive registration are analyzed also.

Key words: dry enrichment, phosphorite ore, thermal decomposition, grinding, classification.