

промышленностью и научными подразделениями. Развитие кафедры осуществляется в соответствии со стратегией деятельности университета, который преобразован в Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», а кафедра обогащения полезных ископаемых получила название кафедры технологического инжиниринга переработки материалов, что способствует развитию новых магистерских и научных программ.

Корни успехов уходят в историю развития кафедры. Опираясь на традиции научной школы, основы которой заложены профессором В.А. Гуськовым в начале прошлого века, его последователи не только развили их, но и открыли новые направления создания технологий и процессов обогащения полезных ископаемых. Это происходит и потому, что кафедра благодаря высокой квалификации ее профессорско-преподавательского состава и научных сотрудников всегда понимала тенденции развития современной техники и технологии. Она оперативно и адекватно реагировала на изменения, происходившие в горной промышленности и в смежных отраслях, на достижения фундаментальных наук, являющихся базой для создания новых сепарационных процессов.

Профессиональные знания, которыми владеют специалисты-обогащатели, всегда востребованы в обществе на любых этапах его развития, поскольку по мере накопления первичных материалов, добываемых в недрах, они в той или иной мере будут вовлекаться в рециклинг, реализация которого без технологий, используемых при обогащении полезных ископаемых, невозможна. Знания обогащателей весьма необходимы в технологиях разработки техногенных месторождений, инженерной защиты окружающей среды, менеджмента природных ресурсов.

Повседневной заботой кафедры было и есть поддержание высокого уровня подготовки студентов. Это осуществляется за счет высокой квалификации преподавателей и тесной связи с промышленностью, развития наукоемких технологий и создания новых процессов.

Редколлегия

УДК 622.7

А.С. КИРНАРСКИЙ, д-р техн. наук
(Германия, фирма «Инжиниринг Доберсек ГмбХ»)

ПЕРЕРАБОТКА ФОСФАТОВ В МАРОККО

Сокращение пахотных земель ввиду роста населения, урбанизации, засухи и общего ухудшения экологической обстановки в мире вызывают повышенный спрос на продовольствие, который к 2050 году увеличится на 70% по сравнению с нынешним уровнем, что является одним из главных вызовов человечеству. Для его разрешения требуется интенсификация сельского производства за счет

Збагачення корисних копалин, 2018. – Вип. 71(112) **23**

Загальні питання технологій збагачення

использования минеральных удобрений, наиболее распространенными из которых есть азотные, фосфорные и калийные. Особую актуальность приобретает спрос на «белое золото», как называют фосфаты в последнее время.

В условиях истощения этого минерального сырья Марокко остается одним из немногих регионов на Земле, где сосредоточено 50 млрд тонн или 85% мировых запасов фосфоритовой руды, которых достаточно на 300-400 лет переработки даже при выпуске фосфоритового концентрата на уровне 170 млн т в год. В 2017 году Марокко вышло на третье место в мире по объему добычи фосфатов (27 млн т), уступая КНР (140 млн т) и США (27,7 млн т). Далее следуют Россия (12,5 млн т), Иордания (8,2 млн т), Бразилия (5,5 млн т), Египет (5,0 млн т), Саудовская Аравия (4,5 млн т), Израиль (4 млн т), Перу (3,9 млн т) [1]. Несмотря на значительный рост добычи фосфатов в Китае запасы этого минерального сырья здесь на порядок ниже, чем в Марокко и составляют 3,1 млрд т, что приведет к снижению объемов добычи при одновременном росте спроса на фосфорные удобрения на китайском рынке, так как из 9 млрд землян в 2050 году 1,4 млрд будет приходиться на жителей Поднебесной. Таким образом, марокканские фосфаты – основа благополучия жителей всей планеты и условие повышения жизненного уровня обитателей этого магрибского государства. Рабат планирует расширить объем добычи в 2020 году до 55 млн т. В настоящее время объемы доходов, получаемые королевством за счет добычи, переработки и экспорта фосфоритов оцениваются в 25 млрд долл. США.

Марокканский фосфоритовый бассейн в Аравийско – Африканской фосфоритоносной провинции был открыт во времена Французского протектората. В 1920 году был создан концерн Office Cherifienne des Phosphates (ОСР), который сегодня под руководством Мустафы Терраба является одним из ведущих мировых лидеров по переработке фосфоритовой руды. Этот государственный концерн контролирует до 30% мирового экспорта фосфоритового сырья и владеет долей в размере 50% в уставном капитале бельгийского фосфатового гиганта «Prayon». По мере сокращения фосфоритовых запасов ведущих мировых производителей фосфатного сырья – КНР и США – влияние концерна ОСР на конъюнктуру мирового фосфатного рынка будет возрастать.

Марокканское фосфатное плато находится в предгорьях Атласских гор в 100-150 км от побережья Атлантического океана. Геологически марокканские фосфаты сформировались в конце эоценовой эпохи в плоском морском заливе и имеют возраст 60-70 миллионов лет. Биолитическая гипотеза об их происхождении из продуктов разложения доисторических животных, прежде всего рыбных скелетов, подтверждения не получила. Различные наблюдения над распространением фосфатов, перерывами в отложении осадков и характером боковых горных пород свидетельствуют не в пользу этой теории. Более убедительным является абиолитическое объяснение, что фосфориты в этом регионе возникли за счет химического выпадения осадков из восходящих глубинных водных потоков, при этом значительная растворимость фосфора при низких температурах привела к размещению фосфоросодержащего раствора в теплых хорошо освещае-

мых областях материковой отмели, где имело место эпизодическое осаждение фосфора и известняка.

Основные месторождения фосфоритовой руды это Хурибга и Гантур. Подготовлено к разработке значительное фосфоритовое месторождение Мескала, расположенное в районе г. Агадир. Другие крупные месторождения, такие как Бен-Герир, Тесаут, Бу-Сбаа, Назалет-эль-Харарша и Имини-Танут в настоящее время не разрабатываются. Наиболее крупное, разрабатываемое с 1922 года фосфоритовое рудное поле, находится вблизи города Хурибга. Фосфатные пласты мощностью 20 м залегают здесь между верхними, меловыми, и нижними, эоценовыми, отложениями. Достоверные запасы фосфатных руд данного месторождения исчисляются цифрой в 26,8 млрд тонн. Промышленные запасы сосредоточены в пластах 0, I, II и III. Мощность самого богатого 0-пласта достигает 2,5 м. Содержание фосфата в этом пласте колеблется в пределах от 75 до 77%. Руда тонкопесчанистая с оолитовыми зернами желто – красной окраски влажностью 14-16%, после сушки которой она приобретает светло – желтую окраску [2]. Марокканские фосфаты проявляют явную парагенетическую ассоциацию с ураном, содержание которого в месторождениях Гантур, Хурибга и Мескала составляет соответственно 0,015-0,012 и 0,01%, а подтвержденные запасы урана в каждом из перечисленных месторождений достигают 33 тыс. т при общих запасах урана в Марокко на уровне 6 млн т. Сейчас разрабатывается проект извлечения урана из фосфорной кислоты, экстрагируемой из отечественных фосфатов.

Добыча марокканских фосфатов ведется на трех рудниках: Хурибга (разрабатывается одноименное месторождение), Юсуфия и Бен-герир (разрабатывают западную часть месторождения Гантур). На руднике Хурибга добыча руды ведется тремя карьерами: Сиди-Даоуи (мощность 10 млн.т), Сиди Шенан и Мери-эль-Ареш (мощность 6 млн т). Вскрышу производят драглайнами (рис. 1), а руду добывают экскаваторами с прямой лопатой и транспортируют автомасвалами грузоподъемностью 110-150 т до сортировочного участка, где на грохотах сбрасывают в отвал непродуктивную крупную фракцию +90 мм, а подрешетный продукт конйерами доставляют на обогатительную фабрику, где осуществляется обогащение исходной руды четырьмя различными способами.



Рис. 1. Разработка вскрыши на марокканском руднике

Загальні питання технологій збагачення

Рядовая руда богатых пластов 0 и I подвергаются грохочению и термической сушке при температуре 200° С, после чего концентрат отгружается на рынок. Бедные фосфаты пласта II направляются на промывку. Руды с высоким содержанием органических веществ, так называемые «черные фосфаты», обжигают [3]. На двух обогатительных фабриках в Хурибге и Бен-Идире из богатой руды на грохотах с ячейкой 15×50 мм отсеивают в отвал крупную фракцию, а подрешетный продукт влажностью 14-16% просушивают в прямооточных барабанных сушилках до остаточной влажности 1,5% и разделяют по крупности 6 мм на вибрационных грохотах, подрешетный продукт которых является товарным концентратом с содержанием P_2O_5 на уровне 33-35%, который железнодорожными вагонами доставляется в погрузочные склады порта Касабланка. Более бедная руда промывается в скруббер – бутарах, рассеивается на грохотах, обесшламливается в три стадии в гидроциклонах, а затем концентрат обезвоживается в центрифугах и сушилках. На руднике Юсуфия рядовая руда транспортируется на обогатительную фабрику мощностью 7,6 млн т в год, куда также поступает руда с рудника Бучане и месторождения Гантур. Исходная руда подвергается усреднению (рис.2). На руднике Бен-герир руда сушится и просеивается перед отправкой на дальнейшую переработку.



Рис. 2. Усреднение фосфоритового сырья

Если в 20 столетии марокканские фосфаты обогащались преимущественно разделением по крупности с последующей кальцинацией или без нее, то сейчас предпочтение отдается пенной флотации [4], что обусловлено истощением богатой руды и вовлечением в переработку руд, минералогически которые включает апатит и фторапатит, кальцит и доломит, кварц и глинистую мергель, а фосфатная их составляющая концентрируется в оолитах, копролитах и костных фрагментах. Как известно, основа флотации фосфоритовых руд жирными кислотами была заложена во Флориде в 20-е годы прошлого столетия. Более конкретное технологическое решение – Karatou Process – для фосфоритовых руд осадочного происхождения разработано позже и отражено работах [5, 6]. Согласно этому технологическому решению карбонатная флотация протекает в

кислой среде ($\text{pH} = 6,0$) при подаче ортофосфорной кислоты (6000 г/т) и синтетической жирной кислоты $\text{C}_{10}\text{-C}_{16}$ (300 г/т). После карбонатной флотации добавляется гидроксид натрия и создается щелочная среда ($\text{pH} = 7,6\text{-}8,0$), после чего флотируется фосфорит при помощи таллового масла (1700 г/т) и подавляются силикаты посредством силиката натрия (500 г/т). Согласно данным [5, 6] в результате такого флотационного разделения извлечение пентоксида фосфора (P_2O_5) в концентрат составило только 75% при содержании P_2O_5 в нем на уровне 28,0%, а по содержанию MgO (1,3%) полученный концентрат превышал допустимый предел 1,0%. Кроме того, недостатком настоящего решения были высокие эксплуатационные затраты по расходу флотореагентов. Специалистами концерна Office Cherifienne des Phosphates (ОСР) был разработан флотационный, так называемый «ОСР-Morocco Process» [7], который предусматривает оттирку исходного продукта, его обесшламливание по граничному зерну 30 мкм в один и/или несколько приемов, поэтапное кондиционирование пульпы в трех отдельных контактных чанах с последовательным добавлением реагентов: сульфата алюминия ($200\text{-}250 \text{ г/т}$) в течение 1,5 мин, виннокислого калия – натрия ($400\text{-}500 \text{ г/т}$) в течение 1,5 мин. и каустической соды ($500\text{-}600 \text{ г/т}$) в течение 1,5 мин и стадияльная карбонатная флотация с добавлением собирателя ($1300\text{-}1500 \text{ г/т}$) прямо в первую камеру флотомашин, после чего было достигнуто извлечение P_2O_5 в концентрат более 80%, что согласуется с принципом однофункциональности, согласно которому каждому процессу, включая оттирку, обесшламливание и кондиционирование, соответствует определенное значение содержания твердого, pH , крупности частиц, типа и расхода реагентов, времени обработки, при этом совмещение нескольких технологических переделов снижает общую эффективность разделения из-за ухудшения селективности сепарационного процесса [8].

Реагентный режим и оптимальное время флотации каждый раз уточняются в лаборатории на флотомашинках с вместимостью камеры 1,4 л (рис. 3), что принимается за основу при работе промышленных установок.

Флотации предшествует оттирка и двухстадийное обесшламливание в гидроциклонах, после чего имеет место кондиционирование пульпы и карбонатно – силикатная флотация [4]. Ввиду обильного пенообразования применяется пеногашение посредством струй воды под высоким давлением. На обогатительной фабрике Дауи была проведена реконструкция технологической схемы за счет установки дополнительного измельчительного оборудования и расширения фронта флотации с 80 до 300 т/ч. Новая фосфоритовая фабрика MERA предусматривает промывку, оттирку, обесшламливание и флотацию руды тремя технологическими линиями.



Рис. 3. Карбонатная флотация марокканских фосфатов

Концентрат обогатительных фабрик поступает на химические предприятия по производству фосфорной кислоты и минеральных удобрений, расположенные в Сафи и Джарф Ласфаре, а в Эль-Аюне, Сафи, Джарф Ласфаре и Касабланке имеются портовые мощности, оборудованные для отгрузки фосфатного минерального сырья и товарной продукции из них. В 2011 году концерн ОСР подписал контракт с датской фирмой «FLSmidth» на сооружение фосфатного терминала в порту Джарф Ласфаре, что в 20 км южнее Касабланки, после завершения строительства которого фирмой «WARMAN» был проложен уникальный пульпопровод протяженностью 235 км для перекачки фосфоритовой пульпы в количестве 38 млн т/год из обогатительной фабрики в районе Хурибги до упомянутого терминала на атлантическом побережье. Сейчас концерном ОСР разрабатывается проект оснащения данного терминала крупнейшим в мире цехом по сушке фосфоритов на основе сушилок с мгновенным парообразованием (flash drier).

Список литературы

1. Top Phosphate – mining Production by Country. Investing News Network // Amanda Kay. – 9.04.2018. – 11 p.
2. Oscar Bär. Die Phosphate Marokkos. S. 89-94.
3. Ангелов А.И., Денисов П.Л. Фосфатное сырье для производства минеральных удобрений. М., 1987, 52с.
4. Abdelkader Alouani. Phosphate Beneficiation for Customers satisfaction in Sustainable development way. «SYMPOS 2015», 3rd International Symposium on Innovation and Technology in the Phosphate Industry // Procedia Engineering, – 138. – 2016. – P. 95-103.
5. Bushel, C.H.G. and Hirsch, H.E. Phosphate Flotation. U.S. Patent, № 3,462,016 and № 3,462,016 and № 3,462,017. – Aug. 1977.
6. Ratobylskaya, L.D., et al. Development and Industrial Introduction of New Concentration Processes for Phosphorities of complex Mineral Composition//Int.Mineral processing Congress Seminar on Beneficiation Of Lean Phosphate with Carbonate Gangue. – Cagliari, Sardinia. – April 1975, P. 17-39.

7. Smani, M.S., *et.al.* Beneficiation of Sedimentary Moroccan Phosphate Ores. AIME Transactions, 258. 1975. – P. 168-182.

8. Кирнарский А.С. Принцип однофункциональности при обогащении полезных ископаемых// Збагачення корисних капалин: Наук.-техн. зб. – 2008. – Вип. 35(76). – С. 33-43.

© Кирнарский А.С., 2018

Надійшла до редколегії 04.09.2018 р.

Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим

УДК 621.793

В.П. КРАВЧЕНКО, канд. техн. наук, **Е.В. ТАРАНИНА**,

В.Ф. ГАНКЕВИЧ, канд. техн. наук

(Україна, Дніпр, Государственное ВУЗ Национальный технический университет «Днепровская политехника»)

НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА РАФИНИРОВАННОЙ МЕДИ ИЗ ВТОРСЫРЬЯ

Введение. В цветной металлургии в зависимости от применяемой технологии и состава получающихся металлов различают черновые – загрязненные примесями и рафинированные металлы – очищенные от примесей. Так как вредные примеси ухудшают характерные для данного металла свойства (электропроводность, пластичность, коррозионную стойкость и т.п.), черновые металлы обязательно подвергают очистке от примесей – рафинированию. Ценные спутники – благородные металлы, селен, галлий, индий, висмут и др. – необходимо попутно извлекать. Чем выше в исходном сырье, например, в сульфидных рудах (медных концентратах) содержание благородных металлов, тем ниже будет себестоимость электролитной меди. Поэтому производство меди из вторичного сырья в сравнении с производством меди из рудного сырья является менее рентабельным из-за очень низкого содержания или вообще отсутствия благородных металлов. Все возрастающий спрос на медь в мире на 40% удовлетворяется производством меди из вторичного сырья.

Поэтому при производстве меди из вторичного сырья возникают задачи, связанные с повышением производительности, применением энергосберегающих технологий и охраной окружающей среды [1, 2], которые не могут быть решены только за счет увеличения тоннажа металлургического оборудования. Необходимы разработка и внедрение на практике технологий глубокого рафинирования расплава меди с дальнейшим использованием ее в жидком состоянии, что позволит уменьшить объемы черновой меди, поступающей на электролитическое рафинирование согласно традиционной схеме получения рафинированной меди.