

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ОБОГАЩЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Назимко Е.И., докт. техн. наук., проф.,
Донецкий национальный технический университет

Приведены краткие исторические сведения по развитию обогащения полезных ископаемых.

Short historical information on development of mineral processing is shown.

Полезные ископаемые, добываемые из недр Земли, составляют материальную основу и являются сырьем для различных отраслей промышленности. Современные рудные месторождения по содержанию ценных компонентов на порядок уступают тем, которые разрабатывались в средние века, богатые запасы уже давно исчерпаны. Например, в настоящее время содержание железа в железной руде составляет 20-25%, меди – 0.5%, молибдена – 0.1%, золота, серебра и урана – несколько грамм на 1 т породы [1]. А для выплавки чугуна содержание железа в рудной загрузке печи должно быть около 65%. Приведенные цифры свидетельствуют о необходимости отделения сопутствующих пород и концентрации полезных компонентов из добытых ископаемых в одном продукте, который может быть в дальнейшем использован в производстве. Эту задачу и решают процессы, называемые обогащением. Без обогащения ни одно из добываемых из недр Земли полезных ископаемых не может быть кондиционным в современных условиях для нужд химии и металлургии, строительства и топливно-энергетического комплекса, а также для других сфер промышленной деятельности человека.

История цивилизации неразрывно связана с развитием техники и технологии. Технический прогресс в горном деле создал значительное количество процессов обогащения, использующих различие в свойствах компонентов в составе руд. Переработка руд основана на многих тонких явлениях, которые изучаются благодаря достижениям физики и химии. При этом используются гравитационные, электрические, магнитные, люминесцентные и радиоактивные свойства минерального сырья, физико-химические

свойства поверхности. К ископаемым прикладываются вибрационные, ультразвуковые, электрохимические воздействия, существуют и бактериологические методы сепарации.

Древнейшим методом обогащения является ручная разборка. Сотни тысяч лет назад люди подбирали для изготовления орудий труда и охоты камни с заостренными краями, находя среди них наиболее прочные и подходящие по размеру и форме. Путем эксперимента установил наш дальний предок, что светлые кварцевые породы являются самыми твердыми, а серые известняковые камни рассыпаются от удара. Разделение этих камней и можно считать первой рудоразборкой – процессом, относящимся к обогащению полезных ископаемых. При этом выполнялась сепарация (сортировка) материала по крупности, твердости, форме и цвету [2]. Около 100 000 лет назад люди уже использовали кварцит, из которого вытачивали топоры и наконечники для копий. Остатки этих орудий находят археологи при раскопках стоянок питекантропов.

Затем наступил Новый каменный век – неолит, принесший людям золото и медь, нефрит, цветные камни. За 3500 лет до нашей эры в Вавилоне, Индии и Египте была развита торговля драгоценными камнями. Из россыпей добывались самородки меди и золота – наиболее крупные вручную, а более мелкие отмывкой. Именно интересу людей к золоту и обязаны своим развитием методы обогащения полезных ископаемых.

Во времена Геродота (V век до н.э.) применялись приспособления для обогащения россыпей промывкой – шлюзы из дерева и бараньих шкур, ендовки, бутары. Этот способ может быть отнесен к самым древним примитивным процессам гравитационного обогащения.

Гравитационное разделение основывается на различии в удельном весе минералов. При этом куски или зерна перемещаются друг относительно друга под влиянием только силы тяжести или при ее использовании совместно с другими силами. Одной из таких сил может быть сопротивление движению в вязкой среде, например в воде [2]. Принципы гравитационного обогащения были известны еще 2000 лет назад и впервые описаны Плинием, а позднее Агриколой в 1556 г. [3]. В течение всего этого периода гравитационное обогащение оставалось наиболее широко применяемым способом разделения минералов. В настоящее время промывка еще используется при обогащении марганцевых, окисленных железных

руд, редких металлов, оловянных руд, фосфоритов, хотя и относится к устаревшим методам.

Большое значение для прогресса техники и технологии обработки руд имели работы М.В. Ломоносова, в частности его труд «Первые основания металлургии или рудных тел», в котором были обобщены вопросы горного дела и гравитационного обогащения. Эта работа увидела свет в 1763 г.

Дальнейшее развитие промывки привело к появлению сепарации минералов в струе воды, текущей по наклонной поверхности. В этом случае минералы разделяются по удельному весу под действием потока воды и силы тяжести. Легкие частицы уносятся с водой, а тяжелые осаждаются на наклонной поверхности разделительного стола. Этот метод обогащения был назван концентрацией на столах. В конце девятнадцатого столетия В. Вильфлеем был изобретен сотрясательный стол, на котором можно было разделять (обогащать) минералы непрерывно.

К середине XIX века относится начало разработки теории гравитационных процессов. В 1851 г. были опубликованы результаты исследований Л. Перноле, посвященных падению рудных частиц в воде. Затем появились работы У. Борна, В. Узатиса, А. Йордана, Д. Спары, А. Риттингера. Впоследствии Дж. Стокс установил закон вязкостного сопротивления жидкости движущемуся в ней телу и на его основе предложил формулу для расчета скорости движения шара малых размеров. В конце этого же столетия русские ученые Г.Я. Дорошенко, С.Г. Войслав, И.А. Корзухин, В.А. Гуськов развили теорию движения минеральных зерен в применении к гравитационным процессам. Позже появились работы Г.О. Чечота, в 40-е годы XX века П.В. Лященко опубликовал первый учебник, в котором были сформулированы основы теории гравитационных процессов.

После концентрационных столов появился другой метод гравитационного обогащения, получивший название отсадки. Зернистый материал расслаивали на сите, периодически погружаемом в воду, при этом сито вручную перемещалось в воде возвратно-поступательно. Такое устройство стало прообразом отсадочной машины с механизированным приводом, а в 1891 г. Ф. Баум изобрел первую беспоршневую отсадочную машину.

В качестве среды разделения при гравитационных процессах обогащения можно использовать не только воду, но и воздух,

тяжелые жидкости, суспензии. В 1858 г. был предложен способ разделения минералов в растворах солей хлористого железа и хлористого кальция, не получивший промышленного применения из-за высоких потерь разделительной среды и трудности ее регенерации. Этот метод стал прародителем сепарации с применением водно-песчаной и магнетитовой суспензии, которые начали свою историю с 1917 г., когда М. Чанс разработал процесс обогащения угля в песчаной суспензии. В 1926 г. инженер Слепцов Е.А. изобрел метод обогащения угля в устойчивой суспензии, а в 1932 г. появился первый сепаратор Тромпа, в котором этот процесс осуществлялся.

В середине XX века были проведены фундаментальные работы, основанные на принципах классической механики, по изучению отсадки и других методов гравитационного обогащения. С этими работами связаны имена известных отечественных ученых: И.М. Верховского, Н.Н. Виноградова, Э.Э. Рафалес-Ламарка, Б.В. Кизевальтера, Г.Д. Краснова, И.Н. Плаксина, М.Г. Акопова, М.В. Циперовича и других. За рубежом изучению закономерностей движения в среде посвящены работы Р. Ричардса, А. Эйнштейна, А. Херста, Р. Ханкока, Г. Тарьяна.

Гравитационные методы являются наиболее дешевыми и могут использоваться для разделения материалов широкого диапазона крупности – от 0,2 до 100 мм.

Развитие электротехники в XIX веке способствовало появлению процессов обогащения, основанных на различном поведении минералов в электрическом поле. В 1870 г. была разработана первая машина для электростатического обогащения, которая применялась для разделения хлопковых волокон и семян. Принцип действия машины был основан на различии в скорости перезарядки и как следствие в траектории движения разноименно заряженных частиц в сильном электрическом поле. Широкое применение в промышленности электростатическая сепарация получила после создания надежных источников высокого напряжения и высоковольтного оборудования. В 1901 г. Л. Блеком и Д. Моршером был предложен первый сепаратор для разделения электропроводящих частиц и диэлектриков, усовершенствованный в 1905 г. Г. Гуффом. В отечественной практике в этом направлении работали такие инженеры и ученые как В.Г. Деркач, Г.С. Бергер, И.Н. Левин и другие.

Электростатическая сепарация применяется при обогащении оловянных, литиевых, вольфрамовых, титано-циркониевых и других руд как эффективный метод разделения.

Открытие в 1820 г. явления образования магнитного поля вокруг проводника электрического тока датским физиком Хансом Эрстедом положило начало развитию процессов разделения минералов по магнитной восприимчивости. В 1825 г. В. Стердженом был создан первый электромагнит, который является основной частью любого электромагнитного сепаратора. Барабанный сепаратор для сухого обогащения магнитных руд появился в Швеции в конце XIX века. Это было изобретение А. Венстрема, а в начале двадцатого столетия его соотечественник В. Грендаль разработал конструкцию первого сепаратора для мокрой магнитного разделения мелкой магнетитовой руды. Развитию теории магнитного и гравитационно-магнитного обогащения способствовали работы В.Г. Деркача, И.С. Дацюка, В.И. Кармазина, В.В. Кармазина, П.И. Зеленова, П.А. Усачева.

Сухая магнитная сепарация нашла применение при обогащении магнетитовых и титано-магнетитовых руд, руд редких металлов, а мокрая – для сильно- и слабомагнитных руд. Гравитационно-магнитные поля могут заменить гравитационные процессы при обогащении немагнитных руд.

В начале XIX века (1806 г.) французским физиком П. Лапласом, а затем англичанином Т. Юнгом были развиты основы физико-химической теории поверхностных и капиллярных явлений, которые стали базой для флотационного метода обогащения тонковкрапленных руд. В конце 70-х годов этого же столетия американский ученый В. Гиббс выдвинул гипотезы о поверхностной энергии и адсорбции, развитые в начале следующего XX века Л.Г. Гурвичем, И. Лэнгмюром и В. Гаркинсом. В 1879 г. была опубликована работа проф. И.С. Громеки по теории капилляров, объясняющая смачивание [4]. Советский академик П.А. Ребиндер создал в 30-х годах прошлого столетия обобщенную теорию физико-химии поверхностных явлений и основ флотации, которая с тех пор не претерпела сколько-нибудь значительных изменений.

Официальной датой возникновения флотации как метода разделения минералов можно считать дату выдачи патента на способ масляной флотации В. Хайнсу (Англия) – 23 августа 1860 г. Однако, этот патент не получил широкого распространения из-за высокого расхода масла. Братья Бессель (Германия) в 1877 г. получили патент

на прообраз современного пенного флотационного процесса, который предназначался для извлечения графита из руды. Дальнейшие успехи в развитии флотации связаны с совершенствованием флотационных аппаратов и с успехами химии – с введением новых синтетических водорастворимых реагентов. Эти первые разработки относятся по времени к 1906-1923 г.г.

В дореволюционной России обогащение полезных ископаемых делало лишь первые шаги – в 1904 г. в Мариуполе работала обогатительная фабрика, где для извлечения графита применялось кипячение графитсодержащей пульпы, а для облегчения прилипания частиц графита к воздушным пузырькам использовался керосин. Бурный рост флотации как метода обогащения в отечественной практике приходится на 50-е годы двадцатого столетия.

Значительное влияние на развитие современной теории флотации имели работы зарубежных и отечественных ученых: А. Таггарта, А. Годэна, И. Уорка, П.А. Ребиндера, Б.В. Дерягина, А.М. Фрумкина, В.А. Глембоцкого, В.И. Классена и многих других. Причастна к исследованию флотации и наша кафедра. Более сорока лет назад, в 60-х годах прошлого века под руководством проф. Ельяшевич М.Г. была основана научная школа по флотации каменных углей и антрацитов, создана карта флотируемости углей Донбасса, внедрены первые флотационные отделения на углеобогатительных фабриках.

Кроме флотации существует еще множество явлений, в которых основную роль играют процессы, происходящие на границе раздела фаз, и которые могут использоваться в обогащении. Основные процессы разделения минералов обслуживаются разными предварительными и завершающими операциями, имеющими свою историю применения и развития, и без которых выполнение основной задачи не является возможным. В заключение следует отметить особую важность всего комплекса этих процессов в современной деятельности человека, т.к. только после обогащения извлеченные из недр ископаемые становятся полезными.

Список источников

1. Р.О. Берт. Технология гравитационного обогащения. М.: Недра. – 1990. – 574 с.
2. Л.А. Барский. Так ископаемые становятся полезными. М.: Недра. – 1988. – 152 с.
3. Agricola G. (1556). De Re Metallica. Trans. Hoover H.C. and Hoover L.H. Dover Publications, N.Y. - 1950. – Book XIII.
4. В.А. Глембоцкий, В.И. Классен. Флотация. М.: Недра. – 1973. – 384 с.