

УДК 622.7

**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, электрохи-

мические 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 рудо-разборкой – 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 Эр-

стедом 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 татано-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.

*Дата поступления статьи в редакцию: 13.11.07*