

В.П. СОКОЛОВА, канд. техн. наук
(Украина, Кривой Рог, Государственное ВУЗ "Криворожский национальный университет")

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕФЛОКУЛЯЦИИ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ГИДРОФОБНОЙ ФЛОКУЛЯЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАГНИТНОГО ОБОГАЩЕНИЯ ТОНКОВКРАПЛЕННЫХ МАГНЕТИТОВЫХ КВАРЦИТОВ

Горнообогатительными комбинатами для поддержания своей продукции на конкурентоспособном уровне ведутся работы по повышению качества концентрата и снижению затрат на его производство. Одним из основных мероприятий повышения качества железорудных концентратов является снижение крупности измельчения, что обеспечивает более полное раскрытие минералов. Снижение крупности разделяемых частиц влечет за собой снижение селективности процессов обогащения, что обусловлено, в частности, явлениями магнитной флокуляции, налипанием нерудных шламов на поверхности рудных зерен, потерей железа с тонкодисперсными частицами.

При магнитной флокуляции агрегаты образуются в результате взаимного магнитного притяжения частиц магнетита в магнитных полях. Эти флокулы очень прочны и плохо разрушаются в магнитных полях сепараторов, а так как они захватывают немагнитные частицы и сrostки, эффективность магнитной сепарации минералов снижается. Наиболее распространенным способом предотвращения отрицательного влияния флокуляции на показатели обогащения является размагничивание железосодержащих пульп, которое направлено на разрушение магнитных флокул. Однако установлено, что частицы крупностью 40-10(5) мкм трудно поддаются размагничиванию. В работе [1] показано, что после размагничивания величина коэрцитивной силы частиц магнетита крупностью 40 мкм снижается всего с 5625 до 5250 А/м. Достижение полного размагниченного состояния с отсутствием магнитной флокуляции возможно для частиц крупностью свыше 400 мкм. Авторы работы [1] считают, что высокая степень флокуляции размагниченного материала может происходить в большей степени за счет электростатического взаимодействия, чем из-за магнитных сил.

Для направленного регулирования поверхностных свойств минералов и повышения их контрастности используют различные виды энергетических воздействий. Так, в работе [2] определены оптимальные условия электроимпульсной обработки железорудной пульпы с целью дезагрегирования магнетитовых флокул, обеспечивающего удаление из магнетитового концентрата нерудной фазы и повышение его качества. Идея работы заключается в использовании эффекта зарядения частиц в импульсном электрическом поле для интенсификации процесса дефлокуляции магнетитового концентрата. Получена зависимость необходимой для дефлокуляции частиц напряженности электрического поля и длительности импульса от значения электрического потенциала поверхности частиц.

Магнітна і електрична сепарація

По данным исследований [3], в результате электрохимической обработки электрокинетический потенциал магнетита увеличивается в отрицательную сторону, что обеспечивает увеличение силы отталкивания между частицами оксидов железа и диоксида кремния и, в конечном итоге, приводит к снижению их взаимной флокуляции. Исследования показали возможность улучшения технологических показателей процесса разделения методом мокрой магнитной сепарации за счет предварительной электрохимической поляризации пульпы перед последней стадией магнитной сепарации: массовая доля железа увеличивается на 0,5-1,5%, извлечение на 1,9-5,7%.

Разработана и апробирована в промышленных условиях технология высокоселективной мокрой магнитной сепарации с использованием сепараторов последовательной технологической многозонности, включающей селективную магнитную флокуляцию [4]. Разработка новой конструкции сепаратора с многозонной магнитной системой, в которой для управления магнитной флокуляцией, формированием слоя магнетита на поверхности барабана и выделением из этого слоя немагнитных продуктов по ходу движения материала модулируется частота вращения и амплитуда напряженности магнитного поля, гидродинамическая пульсация в рабочей зоне сепаратора, рециклирование концентратов при необходимости повышения его качества. Усовершенствованная технология позволяет получить магнитный продукт после второй стадии измельчения с повышением качества на 11-12% (до 65%), при доводке концентрата на 2-3%.

Помимо магнитной флокуляции одной из причин снижения качества концентрата является налипание на поверхности рудных частиц тонкозернистого минерального материала [5]. В поле разделения сепаратора они попадают в магнитный продукт, тем самым снижают его качество.

Эффект "налипания" силикатов и кварца на поверхности частиц рудных минералов окисленных железистых кварцитов вызван различием знаков электрокинетического потенциала данных частиц в воде. С целью предотвращения этого нежелательного явления авторами работы [6] разработан способ направленного изменения поверхностных свойств минералов посредством применения поверхностно-активных веществ (ПАВ). Применялись реагенты, которые избирательно закреплялись на частицах рудных и нерудных минералов. Кроме того, ПАВ, закрепившиеся на рудных частицах, в свою очередь, обеспечивали прилипание к ним ферромагнитных микрочастиц, находящихся в пульпе. Частицы нерудных минералов покрывались ПАВ, обладающим отрицательной магнитной восприимчивостью (медный купорос). Обработка таким образом рудной массы способствует усилению контрастности магнитных свойств частиц рудных и нерудных минералов, что значительно повышает эффективность процесса магнитной сепарации за счет снижения динамики захвата частиц нерудных минералов в разделительной зоне сепаратора. Авторами установлено, что после обработки ПАВ заметно повысилась удельная магнитная восприимчивость рудного материала по сравнению с исходным.

Предложен способ обогащения железных руд с различными минеральными

Магнітна і електрична сепарація

ми разновидностями (магнетит, гематит, мартит, гетит, гидрогетит) за счет применения селективной флокуляции частиц руды в жидкой среде дешламатора. В соответствии с изобретением, частицы рудного сырья обрабатывают при измельчении диспергатором, представленным силикатными солями – жидким стеклом, расход которого составляет 0,2-0,6 кг на тонну измельченной руды, при этом в диспергатор вносят 1,0-1,5% массовой части солей тяжелых металлов: хрома, меди, цинка, а селективную флокуляцию частиц измельченной руды выполняют в жидкой среде дешламатора при рН 7,0-10,5 [7]. Применение диспергатора вызывает пептизацию породных частиц, а добавка солей тяжелых металлов, например, цинкового купороса – коагуляцию рудных железосодержащих частиц. Таким образом, способ позволяет предотвратить флокуляцию породных частиц, достичь минимальных потерь полезного компонента с хвостами обогащения и его максимальное содержимое в товарном железорудном концентрате.

Исследованиями [1] установлено, что диспергатор жидкое стекло оказывает существенное влияние и на прочность магнитных флокул за счет снижения величины коэрцитивной силы магнетита. На магнитную флокуляцию тонкоизмельченных частиц влияет расклинивающее давление тонких слоев жидкости между частицами, которое будет существенно зависеть от концентрации жидкого стекла и увеличиваться при повышении расхода реагента-диспергатора. При расходе жидкого стекла 300 г/т коэрцитивная сила в магнетите снижается на 745 А/м, при 500 г/т – на 1465 А/м для частиц крупностью 40 мкм.

В ранее проведенных исследованиях [8] изучено использование пептизаторов в процессах измельчения, дешламации и магнитной сепарации. В качестве пептизаторов применялись органические и неорганические соединения, действие которых сводилось к устранению адгезионной и частично магнитной флокуляции за счет изменения электростатических и дисперсионных сил, возникающих между частицами в концентрированных дисперсиях. Показано, что наиболее эффективными из них являются барда сульфитцеллюлозных щелоков, гексаметафосфат натрия, триэтаноламин, карбоксилметилцеллюлоза, жидкое стекло и мыло таллового масла. Введение этих реагентов приводило к понижению вязкости и некоторой нейтрализации магнитной флокуляции, а иногда и изменению магнитных свойств минералов, что в ряде случаев приводило к повышению технологических показателей. Реагенты подавались как в цикл измельчения, так и непосредственно в питание сепаратора.

При использовании барды сульфитцеллюлозных щелоков, гексаметафосфата натрия, триэтанолamina, карбоксилметилцеллюлозы (КМЦ) прирост железа в концентратах составил 0,2-1,2%., снижение содержания железа в хвостах – 0,1-0,9%. Пептизирующее действие гексаметафосфата натрия проявлялось за счет адсорбции на поверхности магнетита фосфат – анионов. Имея развитую структуру, они способствовали созданию на поверхности магнетита гидратной оболочки, которая за счет расклинивающего действия препятствовала слипанию магнитных частиц друг с другом и с немагнитными частицами. Действие наиболее заметно проявлялось при расходах 250-1000 г/т. Извлечение железа в

Магнітна і електрична сепарація

концентрат увеличивалось на 0,6-0,7%. Качество концентрата оставалось практически на одном уровне, что свидетельствовало о преобладании магнитных сил, вызывающих флокуляцию частиц, над расклинивающим действием гидратных оболочек. Действие барды наиболее эффективно проявлялось при расходе 1000-2000 г/т. Качество концентрата повышалось на 1-1,2 %. Анионные группы барды закреплялись на поверхности магнетитовых частиц за счет хемосорбции. Пептизирующее действие КМЦ обусловлено гидрофилизацией поверхности силикатов в результате сорбции ассоциатов и мицелл молекул КМЦ, представляющего собой высокогидрофильный анионный полимер с большим количеством гидроксильных и карбоксильных групп. Действие КМЦ наиболее эффективно наблюдалось при расходе 100-500 г/т. Прирост содержания железа в концентрате достигал 0,3-0,9%. Извлечение железа в концентрат повышалось на 0,1-0,5%. При расходах триэтаноламина 100-250 г/т прирост содержания железа в концентрате составил 0,4-1,2%.

В работе [9] показана возможность интенсификации магнитного обогащения в поле низкой напряженности с применением кислотной обработки. Исследования показали, что предварительная обработка пульпы серной кислотой в течение 30 мин при расходе 1 кг/т содержание железа в концентрате СевГОКа повышается с 65,2 до 66,5% и с 65,3 до 66,9% в концентрате ЮГОКа. При обработке концентрата перед магнитной сепарацией жидким стеклом, мылом сырого таллового масла и хлорида натрия содержание железа в концентрате повышалось на 0,5-0,7%.

Полупромышленные испытания доводки концентрата, содержащего 64,2%, по магнитной схеме с применением селективного обесшламливания при использовании углещелочного реагента и мыла сырого таллового масла при расходах, соответственно, 1 и 0,1 кг/т можно получить высококачественный концентрат, содержащий 68,4% железа при извлечении 96,5%.

Таким образом, для повышения эффективности магнитного обогащения тонкоизмельченных магнетитовых кварцитов могут использоваться процессы дефлокуляции и селективной флокуляции за счет управления параметрами магнитного поля или регулирования поверхностных свойств минералов. Последнее осуществляется, в основном, электрохимическим воздействием или обработкой реагентами – главным образом, пептизаторами и реже флокулянтами.

Целью настоящих исследований явилось повышение эффективности магнитного обогащения тонковкрапленных магнетитовых кварцитов с использованием процессов селективной гидрофобной флокуляции и дефлокуляции.

Гидрофобная флокуляция частиц происходит при сцеплении аполярных групп реагентов-собирателей, закрепившихся на поверхности двух или нескольких частиц, а также при сцеплении (слиянии) пленок аполярных собирателей, обволакивающих частицы. В обоих случаях флокуляция тем сильнее, чем значительнее гидрофобизация поверхности реагентами. В отличие от полимерной флокуляции, когда полимерные флокулянты неселективно взаимодействуют с разнообразными минеральными частицами вследствие многообразия связей полимеров при адсорбции на частицах, гидрофобная флокуляция является из-

бирательным процессом [10].

В качестве селективного флокулянта использовали мыло дистиллированного таллового масла (МДТМ) и смесь мыла дистиллированного таллового и солярового масел в соотношении 2:1 (МДТМ:СМ). В опытах применялись 5%-ный раствор МДТМ и эмульсия СМ в 5%-ном растворе МДТМ. Автором в ранее выполненных исследованиях [11, 12] установлено, что добавка углеводорода СМ к раствору МДТМ усиливает флокулирующие свойства МДТМ, причем интенсификация флокуляции твердой фазы повышается в 1,4 раза в присутствии пептизатора. Как диспергатор использовалось жидкое стекло, в опытах применялся 5%-ный раствор.

В качестве исходных продуктов для магнитной сепарации использовалось питание магнитных сепараторов четвертой стадий обогащения РОФ-1 СевГОКа крупностью 96% класса минус 0,056 мм.

Магнитное обогащение проводилось в лабораторных условиях на барабанном сепараторе 237-СЭ, обработка реагентами осуществлялась перед магнитной сепарацией в контактном чане с дисковой мешалкой последовательно с гидрофобным флокулянтom и диспергатором. Расход флокулянтom в опытах составил: МДТМ 0,1-1,0 кг/т; МДТМ:СМ (по МДТМ) 0,1-1,0 кг/т; расход жидкого стекла – 0,5 кг/т.

При обработке пульпы гидрофобным флокулянтom в контактном чане происходит частичная механическая дефлокуляция с высвобождением породных частиц и образование флокул вследствие гидрофобизации поверхности железосодержащих частиц соответствующими реагентами (МДТМ, МДТМ:СМ). Образование флокул тонкодисперсных частиц при введении в пульпу эмульсии аполярного реагента (СМ) можно объяснить закреплением гидрофобизированных твердых частиц на поверхности раздела вода-масло вследствие избирательного смачивания их аполярным реагентом при снижении межфазной свободной энергии. Происходит закрепление тонких частиц на каплях масла или притяжение частиц в момент их контакта.

Последующая обработка пульпы диспергатором – жидким стеклом способствует перемешиванию сфлокулированного продукта. Можно предположить, что при добавке жидкого стекла происходит вытеснение с поверхности частиц-сростков анионов RCOO^- слабо закрепившегося флокулянта ионами HSiO_3^- и SiO_3^{2-} , а также закрепление сильно гидратированных мицелл кремневой кислоты на поверхности породных минералов. Под действием диспергатора жидкого стекла и механического воздействия (перемешивания) происходит удаление слабо сфлокулированного и механически захваченного кварца, что приводит к значительному улучшению разделения. Дефлокуляции также способствует расклинивающее давление тонких слоев кремнекислоты между частицами, которое стремится раздвинуть их или препятствует сближению твердых частиц в воде. Тем самым предотвращается или ослабляется процесс магнитной флокуляции.

Результаты магнитной сепарации в различных условиях представлены в таблице. На рис.1-3 приведены показатели магнитной сепарации, соответствен-

Магнітна і електрична сепарація

но виход концентрата, масова доля заліза в концентраті і извлечение заліза в концентрат, в залежності від виду флокулянта і його расхода.

Результати магнітної сепарації в лабораторних умовах

| Умовля опыта | Продукт | Выход, % | Массовая доля железа, % | Извлечение железа, % | Эффективность обогащения (по Гамильтону [13]) | Коэффициент селективности (по Годэну [13]) |
|---------------------------------|------------|----------|-------------------------|----------------------|---|--|
| Без флокулянта | Концентрат | 92,9 | 67,1 | 96,9 | 69,3 | 5,33 |
| | Хвосты | 7,1 | 27,7 | 3,1 | | |
| | Исходный | 100 | 64,3 | 100 | | |
| С флокулянт-ом МДТМ 0,5 кг/т | Концентрат | 93,3 | 67,2 | 97,5 | 72,8 | 6,52 |
| | Хвосты | 6,7 | 23,9 | 2,5 | | |
| | Исходный | 100 | 64,3 | 100 | | |
| С флокулянт-ом МДТМ:СМ 0,5 кг/т | Концентрат | 94,0 | 67,2 | 98,2 | 77,6 | 8,81 |
| | Хвосты | 6,0 | 18,9 | 1,8 | | |
| | Исходный | 100 | 64,3 | 100 | | |
| С флокулянт-ом МДТМ 1 кг/т | Концентрат | 93,8 | 67,0 | 97,7 | 73,5 | 6,63 |
| | Хвосты | 6,2 | 23,5 | 2,3 | | |
| | Исходный | 100 | 64,3 | 100 | | |
| С флокулянт-ом МДТМ:СМ 1 кг/т | Концентрат | 94,6 | 67,0 | 98,6 | 79,7 | 9,91 |
| | Хвосты | 5,4 | 17,0 | 1,4 | | |
| | Исходный | 100 | 64,3 | 100 | | |

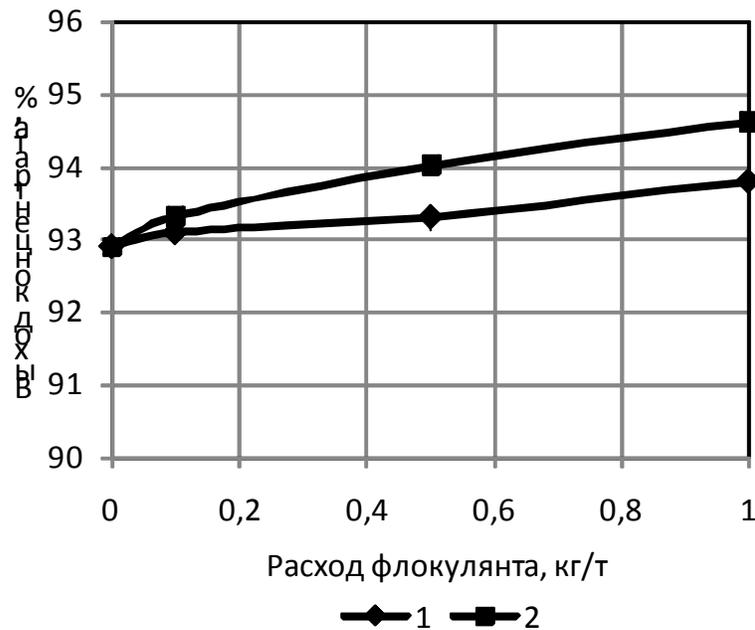


Рис. 1. Залежність виходу концентрата магнітної сепарації від расхода флокулянта:
1 – флокулянт МДТМ; 2 – флокулянт МДТМ:СМ

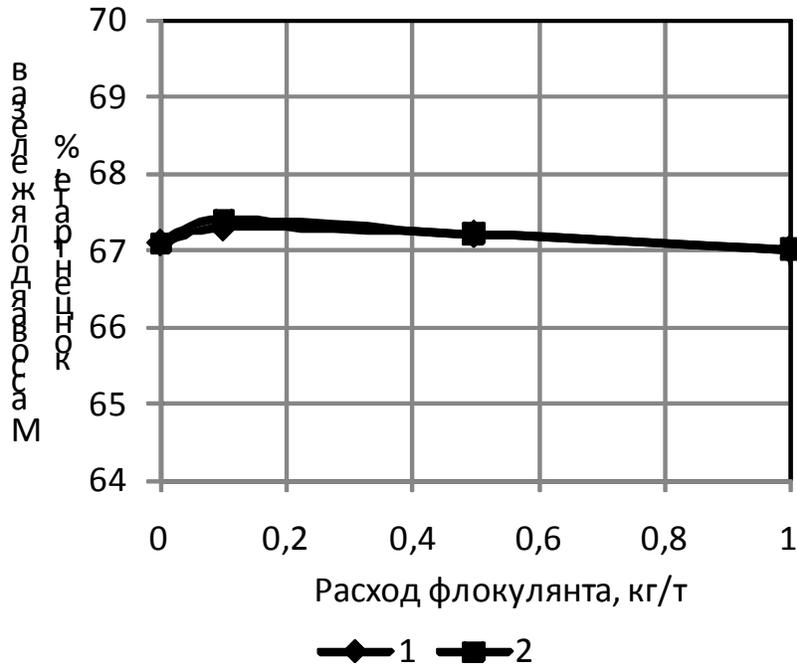


Рис. 2. Зависимость массовой доли железа в концентрате магнитной сепарации от расхода флокулянта:
1 – флокулянт МДТМ; 2 – флокулянт МДТМ:СМ

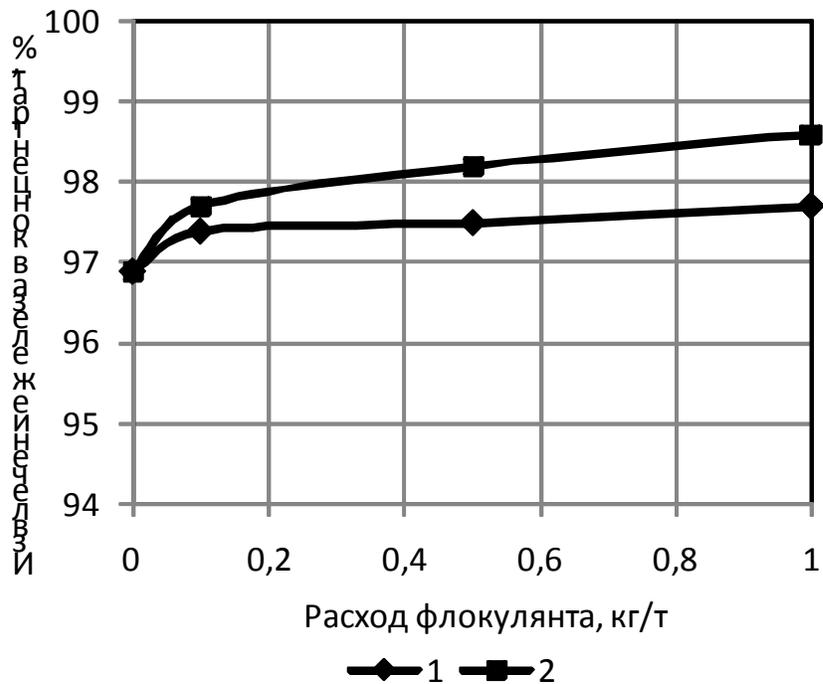


Рис. 3. Зависимость извлечения железа в концентрат магнитной сепарации от расхода флокулянта:
1 – флокулянт МДТМ; 2 – флокулянт МДТМ:СМ

Магнітна і електрична сепарація

Анализ данных таблицы показал, что при обработке питания магнитной сепарации флокулянт МДТМ (при максимальном расходе) и диспергатором возросли: выход концентрата на 0,4-0,9%, извлечение железа в концентрат на 0,6-0,8%. Массовая доля железа в хвостах уменьшилась на 3,8-4,2%.

При обработке пульпы более селективным флокулянт (МДТМ:СМ) выход концентрата увеличивается на 1,1-1,5 %, извлечение железа в концентрат возрастает на 0,8-1,7%. Массовая доля железа в хвостах снижается значительно – на 8,8-10,7%. Массовая доля железа в концентрате практически не изменяется. При расходе флокулянта 0,1-0,5 кг/т имеет место прирост массовой доли железа в концентрате до 67,5-67,2%, соответственно, то есть содержание рудных минералов во флокуле сначала увеличивается с повышением концентрации флокулянта, достигает максимума, а затем снижается в области высоких концентраций (рис. 2).

При обработке пульпы гидрофобными флокулянтами МДТМ и МДТМ:СМ наблюдается повышение эффективности магнитной сепарации, причем более значительно при использовании комплексного флокулянта. При этом улучшается избирательность процесса. Коэффициент селективности возрастает практически в два раза при максимальном расходе флокулянта МДТМ:СМ (таблица).

Выводы

1. В работе выполнен анализ способов снижения отрицательного влияния магнитной флокуляции на показатели магнитного обогащения: размагничивание, электрохимическая обработка пульпы, использование сепараторов "последовательной технологической многозонности", обработка реагентами (жидким стеклом и другими диспергаторами).

2. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена эффективность предварительной гидрофобной флокуляции тонкоизмельченных магнетитовых кварцитов. Исследованиями установлено, что обработка пульпы гидрофобными флокулянтами МДТМ и МДТМ:СМ позволяет повысить выход концентрата и извлечение железа в концентрат за счет уменьшения потерь железа с отходами обогащения при сохранении качества концентрата.

3. При использовании комплексного флокулянта МДТМ:СМ достигнута более высокая избирательность магнитной сепарации. Обработка пульпы предложенной эмульсией позволяет увеличить выход концентрата на 1,1-1,5%, извлечение железа в концентрат на 0,8-1,7%. Массовая доля железа в хвостах снижается на 8,8-10,7%.

Список литературы

1. Шавакулева О.П., Вечеркин М.В. Влияние крупности ферромагнитных минералов на магнитные свойства // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № 1. – С. 340-342.

2. Липная Е.Н. Разработка метода повышения качества магнетитового концентрата на основе электроимпульсной дефлокуляции пульпы: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: МГУ, 2010. – 19 с.

Магнітна і електрична сепарація

3. Гзогян Т.Н., Винников В.А. Интесификация процесса разделения в схемах обогащения железистых кварцитов сложного состава // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 9. – С. 151-157.
4. Андреев В.Г. Повышение эффективности обогащения железных руд путем управления параметрами магнитного поля и флокуляции в рабочих зонах сепараторов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: МГТУ, 2012. – 26 с.
5. Технологическая минералогия железных руд / Б.И. Пирогов, Г.С. Поротов, И.В. Холошин и др. – Л.: Наука, 1988. – 304 с.
6. Тарасенко В.Н., Кравцов В.Н., Кравцов Н.К. Совершенствование процесса извлечения рудных минералов при магнитном обогащении гипергенно измененных железистых кварцитов Кривбасса // Геолого-мінералогічний вісник. – 2000. – № 1-2. – С. 100-104.
7. Пат. 57494 Украина, МПК В 03 С 1/00. Спосіб збагачення залізних руд / С.О. Сторчак, В.І. Яременко, В.М. Кравцов та ін. (Україна). – № u201011858; Заявл. 06.10.2010; Опубл. 25.02.2011, Бюл. № 4.
8. Солецкий В.Л., Ковалева О.М. Применение реагентов-пептизаторов для интесификации процесса магнитной сепарации тонковкрапленных магнетитовых руд // Обогащение полезных ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1981. – Вып. 28. – С. 69-72.
9. Лабораторные и промышленные испытания для получения высококачественных магнетитовых концентратов / Н.И. Алилуев, В.С. Уваров, Е.Ф.Ветрова и др. // Обогащение руд черных металлов: Тем. сб. – 1973. – Вып. 2. – С. 98-105.
10. Небера В.П. Флокуляция минеральных суспензий. – М.: Недра, 1983. – 288 с.
11. Патент на винахід № 42477 Україна, В 03 Д 1/02. Спосіб флотації залізної руди. / В.П. Соколова, М.К. Воробйов. Заявл № 2001031638, 12.03.2001г. Опубл. 15.06.2004. Бюл. № 6.
12. Соколова В.П. Дослідження флокуляції залізовмісних частинок при флотаційному збагаченні гематитових кварцитів із застосуванням суміші гетерополярного і аполярного реагентів // Новое в технологии, технике и переработке минерального сырья: Сб. науч. тр. ин-та Механобрчермет. – 2006. – С. 91-99.
13. Шупов Л.П., Финварб С.М. Информационные оценки критериев эффективности обогащения // Обогащение руд черных металлов: Тем. сб. – 1976. – Вып. 5. – С. 163-175.

©Соколова В.П., 2014

*Надійшла до редколегії 19.01.2014 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*