

УДК 622.765

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РЕАГЕННЫХ РЕЖИМОВ ФЛОТАЦИИ УГЛЕЙ

¹Гришин И.А., ²Князбаев Ж.С.

¹ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
Магнитогорск, e-mail: igorgri@mail.ru;

²ОАО «Донской горно-обогатительный комбинат»

В данной работе представлен анализ мировых топливно-энергетических ресурсов. Показано, что наблюдаемое в настоящее время увеличение объемов добычи угля способствует ухудшению качества угольных концентратов. Установлено, что увеличение содержания мелочи в добываемых углях позволяет считать флотацию наиболее перспективным методом обогащения угольных шламов. Указаны основные флотационные реагенты, используемые на углеобогатительных фабриках России. Рассмотрено влияние различных аполярных и гетерополярных реагентов на качественно-количественные показатели флотации и механизм их действия. Показано, что использование комплексных флотореагентов позволяет интенсифицировать процесс флотации углей. Помимо этого, указано, что применение реагентов-модификаторов, как органического, так и неорганического происхождения является перспективным направлением повышения селективности флотационного обогащения угольных шламов.

Ключевые слова: флотация, реагентный режим, флотационные реагенты, собиратели, пенообразователи, комплексные реагенты, реагенты-модификаторы, выход концентрата, зольность, извлечение горючей массы в концентрат

MAIN DIRECTIONS OF IMPROVEMENT OF THE REAGENCY MODES OF FLOTATION OF COALS

¹Grishin I.A., ²Knyazbayev Z.S.

¹FGBOU VPO «Nosov Magnitogorsk State Technical University», Magnitogorsk, e-mail: igorgri@mail.ru;

²OAO «Don Mining and Processing Works»

In this work the analysis of world fuel and energy resources is submitted. It is shown that the increase in volumes of coal mining observed now, promotes deterioration of coal concentrates. It is established that the increase the maintenance of a trifle in the extracted coals allows to consider flotation the most perspective method of enrichment of coal slimes. The main floatation reagents used at coal preparation factories of Russia are specified. Influence various the apolyarmykh and heteropolar reagents on qualitative quantitative indices of flotation and the mechanism of their action is considered. It is shown that use of complex flotoreagent allows to intensify process of flotation of coals. In addition, it is specified that use of reagents – modifiers, both organic, and an inorganic origin is the perspective direction of increase of selectivity of floatation enrichment of coal slimes.

Keywords: flotation, the reagent mode, floatation reagents, collectors, frothers, complex reagents, reagents modifiers, a concentrate exit, an ash-content, extraction of combustible weight in a concentrate

Среди геологических топливно-энергетических ресурсов, совокупный объем которых оценивается в 6,3 трлн тонн условного топлива (т.у.т.), самые крупные запасы в мире принадлежат твердому топливу, которые составляют 3971 млрд т.у.т. Для нефти и газа характерна средняя степень обеспеченности – 788 млрд и 851 млрд т.у.т. соответственно.

В связи с этим важно обратить особое внимание на такой энергетический ресурс, как уголь. Результаты прогнозных исследований предполагают возрастание ежегодных мировых объемов добычи угля в течение ближайших лет на 0,2–0,3 млрд т. В настоящее время спрос на уголь возрастает на 2% в год. Предполагаемый объем годовой добычи угля к 2020 г. – 8,5–8,8 млрд т [9].

В рамках реализации энергетической стратегии России в январе 2012 года правительством Российской Федерации была

утверждена «Долгосрочная программа развития угольной отрасли на период до 2030 г.», которая предусматривает увеличение объемов добычи угля до 430 млн т.

Однако с повышением объемов добычи, внедрением на шахтах механизированных систем и гидродобычи содержание мелких классов и уровень зольности в рядовых углях увеличиваются, что приводит к значительному ухудшению качества угольных концентратов. Повышение качества угольного сырья на современном этапе возможно только с применением методов обогащения. В мировой практике на сегодняшний день единственным эффективным методом обогащения тонких шламов остается флотация. Совершенствование технико-экономических показателей флотации углей во многом определяется применяемым реагентным режимом.

В настоящее время исследования флотационного процесса направлены на созда-

ние реагентных режимов, обеспечивающих максимальное извлечение горючей массы в концентрат при одновременном уменьшении его зольности. Одним из определяющих факторов, обеспечивающих полноту извлечения органической массы угля при пенной флотации и себестоимость концентрата, является состав флотационных реагентов, а также их доступность на рынке и приемлемая стоимость.

В настоящее время в России в качестве флотационных реагентов используются в основном полупродукты нефтепереработки и отходы нефтехимии. В качестве собирателей применяются аполярные реагенты: дизельное топливо, керосин, термогазойль, топливо ТС-1, в качестве пенообразователей – гетерополярные: Т-80, КОБС, КЭТ-ГОЛ, ВПП.

Изучение влияния фракций газойля и нефти на гидрофобизацию поверхности угольных и породных частиц с последующим их извлечением методом флотации показало, что при одинаковой концентрации фракций с увеличением их температуры кипения до определенного момента увеличиваются и их собирательные свойства. Использование узких фракций аполярного реагента газойля, выкипающих в интервале 180–260 °С, позволяет повысить селективность процесса флотации Кузнецких углей. При этом выход угольного концентрата повышается в среднем на 0,9–2,5% при снижении его зольности и увеличении зольности отходов [3].

Аполярные реагенты повышают эффективность флотации крупных и зернистых угольных шламов размером 0,5 мм за счет увеличения скорости прилипания и прочности закрепления частиц к пузырьку воздуха. При флотации тонких шламов действие аполярных реагентов заключается в основном в образовании в пульпе агрегатов за счет гидрофобной флокуляции. С уменьшением крупности флотируемых частиц нет необходимости увеличения прочности контакта, наоборот, должны применяться реагенты, которые способны к селективной адсорбции, обладают гетерополярным строением и обеспечивают за счет гидрофобного радикала уменьшение гидратированности поверхности.

Наличие гетерополярного реагента приводит к иному механизму закрепления аполярного реагента на окисленных и минерализованных поверхностях угольных частиц. Вначале с поверхностью взаимодействуют молекулы гетерополярного реагента, распо-

лагаясь своей активной полярной группой на поверхности и ориентируясь аполярной ветвью в сторону воды, затем по аполярным концам гетерополярных молекул закрепляется аполярный реагент. Таким образом, одновременное применение аполярных и гетерополярных реагентов позволяет повысить эффективность флотации [10].

В связи с этим перспективным направлением повышения эффективности флотации является совместное использование аполярных реагентов и полимерных флокулянтов при флотации тонких угольных шламов. При предварительной обработке флокулянтом происходит увеличение размера флокул, взаимодействующих с собирателем. В результате увеличивается выход угольных частиц в концентрат и извлечение горючей массы в концентрат. Таким образом, полимерные флокулянты способствуют более полному извлечению угольных частиц. Однако, увеличение концентрации флокулянта приводит к ухудшению показателей флотации за счет образования флокул избыточного размера и гидрофилизации поверхности [7].

Использование для флотации тонких угольных шламов в качестве вспенивателя продуктов модификации реагента ОПСБ, являющегося смесью бутиловых эфиров пропиленгликолей, а в качестве собирателя – газойля, позволяет добиться увеличения выхода концентрата и зольности отходов при уменьшении зольности концентрата. Содержащиеся в данном вспенивателе эфиры, способны в воде и углеводородах образовывать циклические структуры с подвижным гидроксилем, которые могут участвовать как в донорном, так и акцепторном взаимодействии с активными центрами твердых частиц и воздушного пузырька [8].

В настоящее время, помимо традиционных собирателей и пенообразователей, для флотационного обогащения углей используют комплексные флотореагенты. Так, применение в качестве реагента-собирателя композиции на основе легкого газойля каталитического крекинга (ЛГКК) и кубового остатка ректификации стирола (КОРС) при флотации высокзольных углей позволяет повысить эффективность флотации по сравнению с традиционным дизельным топливом – выход концентрата в среднем выше на 8%, а его зольность ниже на 3%. Ввиду высокого содержания аллилзамещенных ароматических структур, а также наличия в составе КОРСа конденсированных ароматических соединений, обладающих по-

вышенной энергией адсорбции на угольной поверхности за счет р-электронов кратных углерод-углеродных связей, происходит улучшение гидрофобизации угольных зерен. КОРС, не содержащий ЛГКК, характеризуется минимальной эффективностью, что обусловлено отсутствием парафиновых углеводородов, наличие которых в составе реагента необходимо для адсорбции на соответствующих неполярных центрах угольной поверхности [6].

Проведенные полупромышленные испытания на углеобогащательной фабрике ОАО «ЕВРАЗ-ЗСМК» углей Кузнецкого бассейна различных марок с использованием флотореагентов КРС марки «А» и флотореагентов Unicol™ марок «С» и «F» показали, что выход концентрата увеличивается с 67,55 до 87,09%, извлечение ценного компонента – с 72,97 до 93,94% при одновременном снижении зольности до 6,44% [5].

Совершенствование реагентных режимов флотации возможно, в частности, на основе использования реагентов-модификаторов угольной поверхности, которые позволяют интенсифицировать процесс флотации, причем не только за счет повышения извлечения ценного компонента в концентрат, но и благодаря сокращению времени флотации. В качестве модификаторов в настоящее время в процесс флотации вовлекаются новые, более эффективные, дешевые и селективно действующие химические соединения.

Для повышения эффективности реагентов-собирателей, традиционно используемых для флотации угля в Кузбассе, были исследованы химические добавки DASF различных модификаций AP – 1÷AP-6 в зависимости от количества активных ингредиентов. Так, использование добавки AP-6 совместно с газойлем каталитического крекинга и коксования на ЦОФ «Березовская» позволило получить менее обводненную и легко разрушаемую пену, при этом выход флотоконцентрата увеличился на 0,7%, расход реагента-собирателя уменьшился на 1054,5 г/т, снизилась влажность осадка фильтра на 1,5–2%, и, помимо этого, стал возможен отказ от реагента-вспенивателя [11].

Использование сложных эфиров изомерного строения в качестве реагентов-модификаторов также позволяет повысить селективность флотации газовых углей, при этом наиболее эффективным является изоамилизобутират, использование которого совместно с ВКП позволяет повысить выход концентрата на 3,15% (кузнецкий

уголь) и 2,79% (донецкий уголь) и снизить зольность концентрата на 1,60% и 1,45% по сравнению с индивидуальным использованием реагента ВКП. Наличие изомерии в структуре сложных эфиров способствует увеличению специфической компоненты межмолекулярного взаимодействия их молекул с угольными частицами, что создаёт возможность специфического закрепления энергетически активного водорода на отрицательных сорбционных центрах угольной поверхности [2, 14, 18].

Наряду с использованием в качестве реагентов-модификаторов органических соединений, возможно применение и неорганических солей. Так, введение в качестве модифицирующих добавок неорганических соединений в сравнительно малых концентрациях во флотационную пульпу до подачи в нее основных флотационных реагентов (собирателя и пенообразователя), обеспечивающее изменение гидратированности поверхности и агрегативного состояния суспензии, изменяет флотационные свойства угольных и минеральных частиц в желаемом направлении, что позволяет значительно повысить селективность процесса [1, 16].

В ряде работ были выдвинуты положения о механизме собирательного действия солей на гидрофобные минералы. Положения эти сводятся к совокупному действию ряда факторов: к пенообразованию в растворах солей, изменению полного электрохимического потенциала поверхности твердой фазы и к изменению строения водных пленок вокруг частиц в результате конкурентного действия ионов солей [12, 16, 17].

В частности, отмечено, что наличие в жидкой фазе водо-угольных суспензий хлоридов, сульфатов, гидрокарбонатов калия, натрия, хлоридов и сульфатов кальция и магния положительно влияет на флотиремость углей, позволяет повысить выход концентрата и его качество, что особенно проявляется в случае труднообогащаемых углей [17].

Исследование флотации кузнецких и донецких газовых углей с применением в качестве реагентов-модификаторов сульфатов алюминия, магния и железа в сочетании с реагентом ВКП свидетельствуют об увеличении выхода концентрата (на 1,5–2,5%) и снижении его зольности (на 0,3–0,7%) по сравнению с индивидуальным применением реагента ВКП [13, 15].

При флотации углей сочетанием аполлярных реагентов и неорганических солей

скорость и эффективность флотации значительно увеличиваются по сравнению с флотацией одним аполлярным реагентом. Эти расходы солей (концентрация 0,1–0,2%) соответствуют концентрациям, обеспечивающим ощутимое изменение характеристик двойного электрического слоя. Эти изменения в структуре и энергетическом состоянии гидратных слоев на поверхности природно-гидрофобных минералов обеспечивают в присутствии аполлярных реагентов эффективную флотацию [4].

Таким образом, интенсификация флотационного обогащения на современном этапе развития возможна благодаря разработке новых реагентных режимов с использованием селективных действующих реагентов, которые позволят улучшить технико-экономические показатели флотации как за счет повышения извлечения ценного компонента в концентрат, так и благодаря сокращению времени флотации.

Список литературы

1. Аглымова Э.Р. Повышение селективности флотации газовых углей с применением органических и неорганических соединений // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Магнитогорск, 2002.
2. Аглымова Э.Р., Савинчук Л.Г. Способ флотации угля // Патент на изобретение RUS 2165799. 23.11.1999.
3. Байченко А.А., Батушкин А.Н. Изучение собирательных свойств аполлярных реагентов при флотации угольных шламов // Вестник Кузбасского гос. тех. университета. – 2006. – № 2. – С. 29–30.
4. Байченко А.А., Иванов Г.В., Бочарова Е.М. Влияние электролитов на флотацию углей // Вестник Кузбасского гос. тех. университета. – 1999. – № 4. – С. 66–70.
5. Гайнуллин И.К. Повышение эффективности процесса флотации угольных шламов с использованием флотореагентов UnicoTM // Уголь. – 2013. – № 5. – С. 105–106.
6. Гиззатов А.А., Ибрагимов А.А., Давлетгареев К.Ф., Рахимов М.Н. Разработка флотационных реагентов для процесса обогащения высокозольных углей // Башкирский химический журнал. – 2013. – т. 20, № 4. – С. 86–89.
7. Иванов Г.В., Байченко А.А., Басарыгин В.И. Эффективность действия аполлярных реагентов при флотации угля в присутствии флокулянтов // Горно-информационный аналитический бюллетень. – 2004. – № 12. – С. 290–293.
8. Иванов Г.В., Мирошникова А.М., Азарова Т.И., Ушакова Н.Н. Повышение эффективности процесса флотации тонких угольных шламов // Вестник Кузбасского гос. тех. университета. – 2010. – № 2. – С. 85–86.
9. Кондырев Б.И., Недхам Мухаммед Дарси, Белов А.В., Ларионов М.В. Мировой топливно-энергетический баланс. Перспективы современных угольных технологий. Материалы первой междунар. науч. конф. «Проблемы освоения георесурсов Российского Дальнего Востока и стран АТР». – Владивосток, 2002. – С. 73–77.
10. Мелик-Гайказян В.И., Емельянова Н.П., Козлов П.С., Юшина Т.И., Липная Е.Н. К исследованию процесса пенной флотации и подбору реагентов на основе механизма их действия. Сообщение 1. Обоснование выбранных методов исследования процесса // Обогащение руд цветных металлов. – 2009. – № 2. – С. 7–18.
11. Меркушева Л.Н., Удовичкий В.И., Лысенко О.Н., Фролов В.С., Кравцова Т.А. Технологические и экономические предпосылки применения новых реагентов на ЦОФ «Березовская» // ГИАБ. – 2003. – № 12. – С. 196–198.
12. Муллина Э.Р., Мишурина О.А., Ершова О.В. Изучение влияния химического строения реагентов-модификаторов на электрохимические свойства угольной поверхности // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 11. – С. 130–133.
13. Муллина Э.Р., Мишурина О.А., Чупрова Л.В. Изучение влияния неорганических солей на извлечение серосодержащих примесей при флотации углей низкой стадии метаморфизма // Технические науки – от теории к практике. – 2013. – № 22. – С. 64–69.
14. Муллина Э.Р., Мишурина О.А., Чупрова Л.В., Ершова О.В. Исследование влияния сложных эфиров линейного строения на флотацию газовых углей // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2. – С. 183. URL: www.science-education.ru/122-20619 (дата обращения: 24.12.2015).
15. Муллина Э.Р., Чупрова Л.В., Мишурина О.А. Исследование влияния химических соединений различного состава на процесс флотации газовых углей // Сборник научных трудов Sworld. – 2013. – Т. 12, № 3. – С. 4–8.
16. Тюрникова В.И., Наумов М.Е. Повышение эффективности флотации. – М.: Недра, 1980. – 224 с.
17. Хан Г.А., Габриелова Л.И., Власова Н.С. Флотационные реагенты и их применение. – М.: Недра, 1986. – 271 с.
18. Чупрова Л.В., Муллина Э.Р., Мишурина О.А. Влияние органических и неорганических соединений на флотацию углей низкой стадии метаморфизма // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4. – С. 24. URL: <http://www.science-education.ru/110-9663> (дата обращения: 24.12.2015).
19. Щеголева Е.Н., Власова Н.С., Чепасова Т.П. Влияние неорганических реагентов-регуляторов на флотацию шлама ЦОФ «Карагандинская» // Проблемы обогащения твердых горючих ископаемых. – М.: Недра, 1977. – Т. 6. Вып. 1. – С. 42–47.