

УДК 622.765

## К ПРОБЛЕМЕ ВЫБОРА МЕТОДА ОБОГАЩЕНИЯ ДЛЯ УГЛЕЙ РАЗЛИЧНОЙ СТАДИИ МЕТАМОРФИЗМА

<sup>1</sup>Гришин И.А., <sup>2</sup>Князбаев Ж.С.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет  
им. Г.И. Носова», Магнитогорск, e-mail: gia\_19711@mail.ru;

<sup>2</sup>ОАО «Донской горно-обогатительный комбинат», Хромтау

В данной статье представлен анализ запасов угля в России и за рубежом. Указаны проблемы, возникающие в результате повышения объемов угледобычи. Представлен обзор современных методов обогащения углей различных стадий метаморфизма. Рассмотрено основное оборудование, используемое при гравитационном обогащении, область его применения, а также проведен анализ достоинств и недостатков тяжелосредних гидроциклонов, спиральных сепараторов, гидросайзеров и отсадочных машин. Установлено, что использование гравитационных методов обогащения ограничено нижней крупностью материала 0,03 мм. Показано, что единственным эффективным методом обогащения ультратонких шламов крупностью менее 0,03 мм в настоящее время является флотация. Изучены основные тенденции развития флотационного обогащения углей. Проведен обзор используемых в настоящее время флотационных реагентов: собирателей, пенообразователей, комплексных реагентов и реагентов-модификаторов. Рассмотрены основные направления поиска новых реагентов, позволяющих повысить селективность флотационного обогащения углей.

**Ключевые слова:** гравитационные методы обогащения, тяжелосредние гидроциклоны, спиральные сепараторы, отсадочные машины, флотация, флотационные реагенты, собиратели, пенообразователи, реагенты-модификаторы

## TO THE ENRICHMENT METHOD CHOICE PROBLEM FOR COALS OF VARIOUS STAGE OF THE METAMORPHISM

<sup>1</sup>Grishin I.A., <sup>2</sup>Knyazbaev Z.S.

<sup>1</sup>Nosov Magnitogorsk State Technical University,  
Magnitogorsk, e-mail gia\_19711@mail.ru;

<sup>2</sup>Don Mining and Processing Works, Khromtau

The analysis of reserves of coal in Russia and abroad is presented in this article. The problems resulting from increase of volumes of coal mining are specified. The review of modern methods of enrichment of coals of various stages of a metamorphism is submitted. The capital equipment used at gravitational enrichment, area of its application is considered and also the analysis of merits and demerits the tyazhelosrednykh of hydroclones, spiral separators, gidrosayzer and the otsadochnykh of cars is carried out. It is established that use of gravitational methods of enrichment is limited to the lower fineness of material of 0,03 mm. It is shown that the only effective method of enrichment of ultrathin slimes fineness less than 0,03 mm are flotation now. The main tendencies of development of floatation enrichment of coals are studied. The review of floatation reagents now in use is carried out: collectors, frothers, complex reagents and reagents – modifiers. The main directions of search of the new reagents allowing to increase selectivity of floatation enrichment of coals are considered.

**Keywords:** gravitational methods of enrichment, tyazhelosredny hydroclones, spiral separators, otsadochny cars, flotation, floatation reagents, collectors, frothers, reagents modifiers

Прогнозируемое увеличение доли угля в мировом топливном балансе электроэнергетики к 2030 г. составит 44 %, что позволяет считать уголь важнейшим электроэнергетическим потенциалом планеты [12]. В недрах России сосредоточена треть мировых ресурсов угля и пятая часть разведанных запасов – 193,3 млрд т. Данное обстоятельство свидетельствует о том, что наша страна является одним из мировых лидеров по производству угля [10]. По объемам угледобычи Россия занимает пятое место в мире после Китая, США, Индии и Австралии. В последние годы Россия вышла на уровень добычи свыше 300 млн т в год [3].

Увеличение объемов добычи угля, запланированное в утвержденной правительством Российской Федерации «Долгосрочной программе развития угольной отрасли на период до 2030 г.», приводит к ухудшению качества добываемых углей, поскольку в переработку вовлекаются высокозольные, высокосернистые и низкометаморфизованные угли. Это приводит к тому, что добываемый уголь во многих случаях не отвечает требованиям потребителей по основным качественным показателям: зольности, влажности, теплотворной способности и спекающим свойствам.

Одним из основных направлений улучшения качества угольного сырья является

развитие обогащения. Повышение эффективности обогатительного производства полезных ископаемых требует разработки и внедрения новых технологических процессов и оборудования, обеспечивающих получение высоких технико-экономических показателей в условиях снижения качества исходного сырья. Совершенствование технологических процессов должно быть направлено на сокращение энергозатрат и материалов на производство концентратов, устранение вредного влияния обогатительного производства на окружающую среду и получение высококачественных угольных концентратов, востребованных как на внутреннем, так и на внешнем рынках.

В настоящее время на углеобогаительных фабриках в основном применяются гравитационные и флотационные методы обогащения. Современная практика обогащения коксующихся углей сводится в основном к использованию для переработки углей трудной и очень трудной обогатимости тяжелых сред и для углей легкой и средней обогатимости – отсадочных машин.

Для обогащения углей с нижним пределом крупности 0,5 мм, в ряде случаев – 0,1 мм применяются тяжелосредные гидроциклоны. Достоинствами этой технологии являются: эффективное обогащение углей трудной обогатимости, высокая точность разделения и высокая точность регулирования плотности разделения. Однако высокие эксплуатационные затраты и необходимость регенерации магнетитовой суспензии являются существенными недостатками обогащения в тяжелосредных гидроциклонах.

Спиральные сепараторы производят разделение по средней и высокой плотности разделения, поэтому их применяют для обогащения энергетических углей любой обогатимости и коксующихся углей легкой обогатимости. Для обогащения коксующихся углей трудной обогатимости применение спиральных сепараторов менее эффективно, поскольку качество концентрата существенно ухудшается вследствие засорения фракциями промежуточной плотности. Использование спиральных сепараторов позволяет значительно снизить нагрузку на флотационные отделения фабрик по твердому, повысить нижний предел крупности мелкого машинного класса, обогащаемого в тяжелосредных гидроциклонах, с 0,5 до 1 мм и тем самым суще-

ственно снизить потери магнетита с продуктами обогащения. Но вместе с тем уменьшается средняя крупность частиц, поступающих на флотацию. Недостатками спиральных сепараторов являются: ограниченный диапазон плотности разделения 1550–2000 кг/м<sup>3</sup>, низкая эффективность обогащения частиц крупностью менее 0,15 мм и относительно невысокая удельная производительность на единицу занимаемой площади по питанию. Помимо этого, при наличии в питании флотации глины критически ухудшаются показатели флотации, увеличивается расход флотреагентов и, соответственно, увеличивается себестоимость процесса.

Достоинствами использования сепараторов с качающейся постелью, или гидросайзеров, применяемых для крупности угля 0,08–3 мм, является возможность обогащения углей по низкой плотности разделения менее 1500 кг/м<sup>3</sup>, а также простота устройства, возможность автоматического регулирования плотности разделения и относительно высокая удельная производительность. Однако обогащение углей трудной обогатимости в этих сепараторах характеризуется низкой эффективностью. К недостаткам этих сепараторов стоит также отнести потребность в чистой оборотной воде и узкий класс крупности частиц.

В практике обогащения всех типов энергетических углей и коксующихся углей легкой и средней обогатимости широкое распространение получили отсадочные машины, благодаря своей универсальности, простоте технологии, высокой производительности и относительно низкой энергоемкости процесса. Однако использование отсадки для обогащения тонких шламов неэффективно [9].

Методы обогащения в тяжелосредных гидроциклонах и отсадочных машинах ограничены нижней крупностью материала 0,15 мм. Методы с использованием спиральных сепараторов, водных циклонов и центрифуг ограничены нижней крупностью 0,03 мм. Для обогащения ультратонкого шлама крупностью менее 0,03 мм в настоящее время используют флотационные методы. Флотация позволяет выделить ценный компонент в виде флотоконцентрата с низкой зольностью из мелкого угольного шлама, образующегося в процессах гравитационного обогащения и промывки углей. Флотационное разделение основано на различии в удельных свободных поверхностных

энергиях минералов. Несмотря на то, что уголь относится к минералам с высокой естественной гидрофобностью, его эффективная флотация может быть достигнута только с применением флотационных реагентов (собирателей, пенообразователей, реагентов-модификаторов, комплексных флотореагентов).

В России в настоящее время в качестве флотореагентов используют полупродукты нефтепереработки и отходы нефтехимии. В большинстве случаев в качестве собирателей при флотации углей в странах СНГ используются аполярные реагенты: керосин, дизельное топливо, топливо ТС-1, термогазойль и др. В качестве пенообразователей – гетерополярные: КОБС (кубовые остатки производства бутилового спирта), КЭТГОЛ (кубовые остатки от производства 2-этилгексанола), Т-80 (полупродукт, образующийся при получении 1,3-диоксана), ВПП (полупродукт, образующийся при производстве 4,4-диметил-1,3-диоксана).

Важным направлением в развитии флотационного обогащения углей является разработка комплексных флотореагентов. Так, на некоторых фабриках Кузбасса применяется комплексный реагент собиратель КРС – смесь регенерированных нефтепродуктов (минеральных масел) с добавлением или без добавления керосиногазойлевых фракций переработки нефти, активирующих добавок для увеличения флотационной способности (масло X) и присадок для понижения температуры замерзания.

Помимо этого, ООО «Минерал» (Группа компаний «Маррико») внедряет новые флотореагенты Unicol™ марок «С» и «F» на спиртовой основе, которые флотируют все известные виды углей: газовые, жирные, коксовые, тощие, а также антрациты, – образуют стабильную пену, которая хорошо обезвоживается. Причем флотореагент Unicol™ марки «С» обладает собирательными свойствами, а флотореагент марки «F» – пенообразующими свойствами. Эти флотореагенты смешиваются между собой в любых соотношениях и могут применяться как совместно, так и отдельно, в зависимости от конкретных условий. При совместном использовании флотореагентов Unicol™ марок «С» и «F» достигается выраженный синергетический эффект. Эти реагенты образуют стабильную пену, которая хорошо обезвоживается. Флотореагенты

Unicol™ действуют селективно во всем спектре размеров частиц в пульпе [4].

Существенно повысить селективность флотационного процесса позволяет применение реагентов-модификаторов, в качестве которых используются соединения как органического, так и неорганического происхождения, позволяющие увеличить различие в гидратированности поверхности угля и минерализованных компонентов угольного вещества [1, 8, 11].

Использование в качестве модифицирующих добавок неорганических серосодержащих солей позволяет не только улучшить качественно-количественные показатели флотации, но и повысить извлечение серы в отходы флотации. Последнее обусловлено повышением гидратированности поверхности пиритсодержащих примесей за счет образования водородных связей между координированными молекулами воды гидроксоаквакомплексов катионов данных солей и молекулами воды жидкой фазы пульпы, что обеспечивает депрессию серосодержащих примесей [6].

Целесообразно также использование в качестве реагентов-модификаторов соединений органического происхождения. Флотационные исследования с использованием сложных эфиров линейного строения свидетельствуют о повышении селективности процесса, особенно при наличии изомерии в структуре вещества. Данное обстоятельство создает возможность специфического закрепления этих соединений на угольной поверхности [2, 5, 7].

Таким образом, одной из важнейших проблем углепереработки в настоящее время является повышение качества угольных концентратов, которое возможно только при условии интенсификации процесса обогащения. Анализ различных методов обогащения углей показал, что наиболее перспективными являются флотационные и гравитационные методы, однако применение последних ограничено нижней крупностью материала 0,03 мм. Единственным эффективным методом обогащения ультратонких шламов крупностью менее 0,03 мм в настоящее время является флотация. Совершенствование флотационного процесса возможно за счет разработки селективных реагентных режимов, позволяющих повысить технико-экономические показатели процесса и улучшить качество угольных концентратов.

**Список литературы**

1. Аглямова Э.Р. Повышение селективности флотации газовых углей с применением органических и неорганических соединений: дис. ... канд. техн. наук. – Магнитогорск, 2002.
2. Аглямова Э.Р., Савинчук Л.Г. Способ флотации угля / Патент на изобретение RUS 2165799. 23.11.1999.
3. Алексеев К.Ю., Линев Б.И., Рубинштейн Ю.Б. Перспективы развития углеобогащения в России // Уголь. – 2010. – № 8. – С. 70–73.
4. Гайнуллин И.К. Повышение эффективности процесса флотации угольных шламов с использованием флотореагентов UnicoITM // Уголь. – 2013. – № 5. – С. 105–106.
5. 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.
6. Муллина Э.Р., Мишурина О.А., Чупрова Л.В. Изучение влияния неорганических солей на извлечение серо-содержащих примесей при флотации углей низкой стадии метморфизма // Технические науки – от теории к практике. – 2013. – № 22. – С. 64–69.
7. 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; URL: [www.science-education.ru/122-20619](http://www.science-education.ru/122-20619) (дата обращения: 15.12.2015).
8. 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.
9. Новак В.И., Козлов В.А. Обзор современных способов обогащения угольных шламов // ГИАБ, – 2012. – № 6. – С. 21–23.
10. Таразанов И. Итоги работы угольной промышленности России за 2012 год // Уголь. – 2013. – № 3. – С. 78–90.
11. Чупрова Л.В., Муллина Э.Р., Мишурина О.А. Влияние органических и неорганических соединений на флотацию углей низкой стадии метморфизма // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4; URL: <http://www.science-education.ru/110-9663> (дата обращения: 15.12.2015).
12. Шатиров С.В. Современные проблемы угольной отрасли // Уголь. – 2013. – № 4. – С. 45–49.