

официального оппонента, кандидата технических наук, доцента Фадеевой Натальи Владимировны на диссертацию Прохоровой Евгении Олеговны на тему: «Развитие комплексного подхода к оценке флотуемости мелких классов высокозольных углей для их эффективного обогащения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых.

1. Актуальность темы диссертации

В угольной отрасли, как и во всем минерально-сырьевом комплексе, непрерывно увеличивается необходимость в ресурсах, истощаются запасы качественного сырья и не снижаются, а иногда и ужесточаются требования к качеству переработки. При обогащении угля критически важной для минерально-сырьевого комплекса России становится проблема обогащения мелких высокозольных фракций, что связано с увеличением доли мелкого класса в общем объеме перерабатываемого сырья и недостаточно эффективной его переработкой. Эффективность обогащения самого мелкого класса крупности часто остается низкой, что обуславливает недостаточную вовлеченность этого продукта в переработку, снижение экономических показателей от потерь добытого сырья или высоких затрат на переработку и экологические последствия от хранения непереработанных шламов или отходов, содержащих угольные частицы.

Среди проблем переработки угольных шламов – трудность поддержания стабильной работы и зависимость процесса от характеристик угля в поступающем исходном сырье, качества и стабильности состава флотационных реагентов, использовании в качестве реагентов продуктов нефтепереработки и нефтехимии, рост содержания породного шлама, выносимого в пенный продукт угольной флотации.

В связи с этим, диссертационное исследование, направленное на разработку научно-обоснованного выбора флотационных реагентов, основанного на комплексной оценке действия аполярных собирателей и количественной оценке флотуемости угля и породных минералов при обработке их реагентами, для повышения эффективности обогащения мелких классов угля, несомненно является актуальным и способствует развитию угольной промышленности России.

2. Научная новизна диссертации

Новизна диссертационной работы заключается:

- в обосновании применения коэффициента смачиваемости минеральных частиц, рассчитываемого через значение свободной поверхностной энергии минералов и отражающего различия в полярной и дисперсионной ее составляющих, для оценки изменения поверхностных свойств разделяемых минералов при обработке их собирателями и депрессорами и селективности их действия;

- в разработке методического подхода к выбору наиболее эффективных аполярных собирателей для флотационного и флотогравитационного обогащения угля, заключающегося в комплексной оценке свойств аполярных собирателей и их эмульсий, отражающих

эффективность действия реагентов во флотационной системе: коэффициента смачивания как критерия флотируемости угля, скорости растекания реагентов для оценки эффективности прорыва гидратного слоя и динамической вязкости, характеризующей образование устойчивого флотокомплекса;

- в установлении закономерностей изменения зольности и выхода концентрата обогащения угля флотогравитацией от расхода аполярного собирателя и изменения частоты колебания деки концентрационного стола.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность и достоверность защищаемых научных положений и выводов, представленных в диссертации, обеспечивается использованием современного измерительного оборудования, разнообразием используемых методов исследования, значительным объемом теоретических и экспериментальных исследований, высокой сходимостью и статистической обработкой экспериментальных данных и апробацией результатов на научно-практических российских и международных конференциях.

4. Научные результаты, их ценность

К основным научным результатам, полученным соискателем, относятся:

- коэффициент смачивания, разработанный автором для оценки действия флотационных реагентов, основанный на определении термодинамических параметров поверхности – свободной поверхностной энергии, полярной и дисперсионной ее составляющих, ценность которого заключается в возможности численной сравнительной оценки изменения поверхностных свойств минералов при обработке их флотационными реагентами и упрощении выбора аполярного собирателя или депрессора, действующих при флотации угля с большей эффективностью и селективностью.

- комплексный подход к выбору аполярных собирателей или их эмульсий с полярным реагентом для флотации угля, включающего оценку изменения флотируемости угля, эффективность прорыва гидратной оболочки воздушного пузырька для закрепления на нем минеральной частицы и оценку устойчивости образовавшегося флотокомплекса; ценность предлагаемого подхода заключается в получении более полного представления о действии аполярных собирателей, появлением возможности оценки повышения эффективности их действия введением поверхностно-активных веществ или сочетанием аполярных и полярных собирателей;

- повышение технологических показателей флотационного обогащения высокзольных мелких классов угля и получение угольных концентратов, отвечающих требованиям качества, достигнутое при использовании предложенных подходов к выбору аполярного собирателя и депрессора;

- разработка технологической схемы переработки угля крупностью 6-0 мм, включающей последовательность операций флотогравитации с получением трех продуктов, измельчения

промпродукта и его флотации, ценность которой заключается в повышении эффективности обогащения мелких классов крупности, рассчитанной по Ханкоку-Луйкену;

- получение математической модели процесса флотогравитации, описывающей зависимость зольности и выхода концентрата от частоты колебаний деки концентрационного стола и расхода собирателя, ценность которой заключается в возможности оптимизации параметров переработки и прогнозировании качества продуктов.

По теме диссертационного исследования опубликовано 10 научных работ, в которых достаточно полно отражены результаты исследования. Две научные статьи опубликованы в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, две статьи - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus; получено 2 патента.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Теоретическая значимость результатов диссертации состоит в развитии научно-обоснованного подхода к выбору эффективных флотационных реагентов, основанного на установлении взаимосвязи поверхностных термодинамических параметров минеральных частиц и их поведением в процессе флотации, направленного воздействия на поверхностные свойства сырья посредством применения флотационных реагентов, возможности прогнозирования поведения частиц, сравнения реагентов и оценке селективности их действия по коэффициенту смачивания.

Практическая значимость результатов диссертационного исследования заключается в разработке:

- методики оценки поверхностных свойств минералов по коэффициенту смачивания, основанной на измерении равновесного краевого угла смачивания и вычислении работы адгезии по составляющим свободной поверхностной энергии минералов. Использование данной методики позволяет оперативно оценивать действие реагентов на поверхностные свойства минералов и упрощает выбор наиболее эффективного реагента. Возможность практического использования методики подтверждена актом об использовании результатов в научно-исследовательской деятельности АО «Механобр инжиниринг».

- комплексного методического подхода к выбору эффективного аполярного собирателя на основе оценки динамической вязкости, растекания реагента на поверхности воды и коэффициента смачивания минералов. Учитывая многофакторность флотационного обогащения, номенклатуру собирателей для флотации угля, их состав и свойства, данный подход сокращает программу исследований действия реагентов и способствует выработке стратегии к адаптации технологических режимов переработки минерального сырья с новыми технологическими свойствами.

- технологической схемы переработки мелких классов высокозольных углей с последовательным использованием флотогравитации и флотации и получением крупного (-6+0

мм) и мелкого (-0,5+0 мм) угольных концентратов требуемой зольности (меньше 10 %). Способ флотогравитационного обогащения угля на концентрационном столе защищен двумя патентами на изобретения. Экономическая оценка предлагаемых решений показала их целесообразность и эффективность.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты диссертационного исследования Прохоровой Е.О. могут быть использованы обогатительными научно-исследовательскими и проектными организациями при разработке технологических регламентов и проектов обогатительных фабрик по переработке труднообогатимых высокозольных углей и технологических режимов и схем переработки техногенного угольного сырья; действующими углеобогатительными фабриками в циклах переработки мелких классов углей с целью повышения качества концентратов и снижения потерь угля с хвостами; учебными заведениями, осуществляющими подготовку специалистов по направлению Горное дело, специализации обогащение полезных ископаемых в курсах флотационного и гравитационного методов обогащения, технологии переработки минерального сырья, в исследовательской деятельности обучающихся.

7. Замечания и вопросы по работе

Рассматриваемая диссертационная работа Прохоровой Е.О. состоит из пяти глав, включает анализ проблемы, характеристику используемых методов исследования и угля, теоретические и экспериментальные исследования и экономическую оценку предлагаемых решений.

Текст диссертации свидетельствует о глубокой теоретической проработке литературных источников по теме исследования и смежным областям и свидетельствует о широте научного познания автора. Результаты, приведенные в диссертации, свидетельствуют о проведении автором большого комплекса исследований по определению поверхностных свойств угля и минералов породы и влияния на них реагентов собирателей и депрессоров. Для интерпретации полученных результатов автор корректно использует существующие физико-химические теории. Выводы, которые делает автор по результатам проведенных исследований обоснованные, логичные, не противоречат друг другу и известным положениям теории флотационного обогащения. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

По диссертационной работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. Среди ученых, внесших значительный вклад в развитие теории и технологии флотации углей не упомянуты Классен В.И., автор фундаментального труда «Флотация угля», Плаксин И.Н., внесший значительный вклад в развитие теории взаимодействия флотационных реагентов с минеральной поверхностью, Дерягин Б.В., основоположник кинетической теории флотации малых частиц, магнитогорская школа Петухова В.Н. и Савинчук Л.Г., изучавших состояние поверхности угля, его окисленности и подбор реагентов для флотации окисленных

углей, а также не упомянуты Хан Г.А., Габриелова Л.И., Власова Н.С. Из зарубежных не отмечен Фюрстенау Д.В.

2. Не смотря на название работы связанного с оценкой флотуемости мелких классов углей, автор уделяет излишнее внимание гравитационным процессам обогащения крупных фракций угля, в том числе сухому обогащению и информационным методам. При этом не приводятся сведения о возможностях и практике обогащения углей на концентрационных столах.

3. В автореферате в табл.1 и 2 приведены результаты исследования влияния собирателей и депрессоров на изменение работы адгезии и коэффициента смачивания, при этом значения работы адгезии и коэффициента смачивания для исходного угля отличаются и автор не приводит объяснения этому.

4. К показателям качества получаемых эмульсий аполярных реагентов, обуславливающих эффективность их использования, является дисперсность и стабильность получаемых эмульсий, от которых будет зависеть количество капель и вероятность их столкновения с частицами минералов. Были ли попытки ее оценить?

5. Не понятно, как автор пришел к идее использования процесса флотогравитации? С какими показателями и при каких параметрах работал стол без реагентов? Был ли сделан анализ причин неудовлетворительных показателей его работы?

6. Автор объясняет повышение эффективности разделения на концентрационном столе увеличением различий в плотности и флотуемости разделяемых минералов. При этом не объясняет, за счет чего меняется плотность, если это все-таки пленочная флотогравитация. При пенной флотогравитации это объясняется образованием минерализованного аэрокомплекса, плотность которого за счет воздушного пузырька будет меньше плотности частицы. В процессе пенной флотогравитации осталось не до конца понятным образование флотационной пены: для вовлечения воздуха в пульпу требуется достаточно интенсивное ее перемешивание по типу механических флотомашин. Не получится ли так, что при интенсивном перемешивании с реагентами флотация произойдет уже в контактном чане, а при спокойном перемешивании степень аэрированности пульпы окажется не достаточной?

7. В работе для создания эмульсий предлагается использовать ультразвуковую кавитацию, однако не понятно, в какой статье учтены затраты на ультразвуковую обработку при экономической оценке принятых решений.

Высказанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации, изложенных и обоснованных в ней научных результатов. Уровень проведенных исследований высокий, выводы и научные положения, сделанные автором диссертации, не вызывают сомнений.

8. Заключение по диссертации

Диссертация «Развитие комплексного подхода к оценке флотуемости мелких классов высокозольных углей для их эффективного обогащения», представленная на соискание ученой

степени кандидата технических наук по специальности 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор **Прохорова Евгения Олеговна** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых.

Официальный оппонент

Доцент кафедры геологии, маркшейдерского дела
и обогащения полезных ископаемых

ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

к.т.н., доцент **Фадеева Наталья Владимировна**



Подпись Фадеевой Натальи Владимировны заверяю

И.о. начальника отдела делопроизводства ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» В.А. Зайцева



 05.08.2026

Сведения об официальном оппоненте:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Почтовый адрес: 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, д. 38

Официальный сайт в сети Интернет: magtu.ru

эл. почта: natalifadeeva03@gmail.com

телефон: +7 (3519) 29-85-55