

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ.5
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 11.09.2026 № 8

О присуждении Прохоровой Евгении Олеговне, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Развитие комплексного подхода к оценке флотировемости мелких классов высокозольных углей для их эффективного обогащения» по специальности 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых принята к защите 25.06.2026, протокол заседания № 4, диссертационным советом ГУ.5 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России, 199106, Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., дом 2, приказ ректора Санкт-Петербургского горного университета о создании диссертационного совета от 06.02.2023 № 153 адм, с изменениями от 30.03.2023 № 467 адм, от 27.04.2023 № 653 адм, от 13.07.2023 № 1090 адм, от 03.11.2023 № 1638 адм, от 02.09.2024 № 1281 адм, от 14.10.2024 № 1537 адм, от 03.07.2025 № 859 адм, от 21.11.2025 № 1527 адм.

Соискатель, Прохорова Евгения Олеговна, 28 октября 1998 года рождения, в 2022 году окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по специальности 21.05.04 Горное дело.

С 01.10.2022 года по настоящее время является аспирантом очной формы обучения кафедры обогащения полезных ископаемых федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре обогащения полезных ископаемых в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор **Александрова Татьяна Николаевна**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», кафедра обогащения полезных ископаемых, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Кондратьев Сергей Александрович – доктор технических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория обогащения полезных ископаемых и технологической экологии, заведующий лабораторией;

Фадеева Наталья Владимировна – кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», кафедра геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых, доцент кафедры; дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук»**, г. Апатиты, в своем положительном отзыве, подписанном Опалевым Александром Сергеевичем, кандидатом технических наук, заместителем директора по научной работе, ведущим научным сотрудником Горного института – обособленного подразделения, Марчевской Валентиной Викторовной, кандидатом технических наук, доцентом, ведущим научным сотрудником того же института, секретарем заседания и утвержденном Тананаевым Иваном Гундаровичем, доктором химических наук, академиком РАН, и.о. генерального директора, указала, что полученные Прохоровой Евгенией Олеговной результаты дополняют теоретические основы развития научных представлений о поверхностных характеристиках сырья, обосновывая применение разработанного коэффициента смачивания для сопоставительной оценки реагентов и прогнозирования их действия на различных видах сырья; и имеют практическую значимость в возможности использования разработанных автором способов обогащения угля, защищенных патентами, а также предложенной схемы обогащения высокозольного угольного сырья класса крупности -6+0 мм, включая внедрение методики оценки поверхностных свойств в деятельность АО «Механобр инжиниринг» при проведении научно-исследовательских работ.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 10 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 4 работы, в том числе в 2 статьях - 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 (далее –

Перечень ВАК), в 2 статьях - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus. Получено 2 патента.

Общий объем – 4,5 печатных листов, в том числе 1,81 печатных листов – соискателя.

Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук:

1. **Прохорова, Е.О.** Оценка поверхностных свойств угля и породообразующих минералов при воздействии депрессоров / **Е.О. Прохорова**, А.Ю. Смирнов, Т.Н. Александрова // Успехи современного естествознания. – 2024. – № 5. – С. 110-115. DOI: 10.17513/use.38274 (№ 2777 Перечня ВАК ред. 23.04.2024) (ссылка в диссертации на странице 60)

Соискателем приведена оценка влияния реагентов-депрессоров на поверхностные свойства угля и породообразующих минералов (кварц, кальцит) путем измерения краевого угла смачивания и расчета свободной поверхностной энергии и ее составляющих. Показано, что селективный характер действия депрессоров позволяет повышать гидрофильность минералов пустой породы при минимальном воздействии на поверхность угля. Пирофосфат натрия продемонстрировал наиболее селективное действие на свободную поверхностную энергию кварца и кальцита при относительно слабом влиянии на уголь. Применение комбинации пирофосфата натрия и жидкого стекла во флотационных опытах показало возможность получения концентрата с необходимой зольностью, менее 10%, из высокозольного угля.

2. **Афанасова, А.В.** Исследование влияния депрессоров на флотоактивные породообразующие минералы при флотации сульфидных золотосодержащих руд / **А.В. Афанасова**, В.А. Абурова, **Е.О. Прохорова**, Е.А. Лушина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022 – № 6-2 – С. 161-174. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_62_0_161 (№ 894 Перечня ВАК ред. 25.05.2022) (ссылка в диссертации на странице 63).

Соискателем проведено исследование влияния различных депрессоров на флотоактивные породообразующие минералы (кальцит, кварц) при обогащении методом флотации. Обосновано, что высокая флотационная активность пустой породы приводит к значительному загрязнению концентрата, что приводит к необходимости применения комбинации депрессоров. Лучшие результаты были получены при использовании двух депрессоров: жидкого стекла и КМК, что позволило существенно снизить содержание и извлечение кальция и кремния во флотационный концентрат без депрессии ценных компонентов. Полученные данные показали эффективные методы селективного подавления флотоактивных породообразующих

минералов.

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования (Scopus):

3. Александрова, Т.Н. Модификация свойств породообразующих минералов при флотации / Т.Н. Александрова, **Е.О. Прохорова** // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 12. – С. 123–138. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_12_0_123. (№ 565 Перечня ВАК-МБД (Scopus) ред. 25.12.2023) (ссылка в диссертации на странице 60).

Соискателем проведена оценка направленного воздействия флотационных реагентов с предварительной оценкой поверхностных свойств материала. Установлено, что направленное регулирование свободной поверхностной энергии позволяет существенно повысить гидрофильность минералов породы и улучшить селективность флотационного разделения. Выявлено, что применение комбинированных реагентных режимов на основе комбинации депрессоров обеспечило снижение извлечения кварца на 7,16 % и кальцита на 5,1 %, а также степени концентрации породообразующих минералов в концентрате.

4. Aleksandrova, T.N. Investigation of Interfacial Characteristics as a Key Aspect of the Justification of the Reagent Regime for Coal Flotation / T.N. Aleksandrova, V.V. Kuznetsov, **E.O. Prokhorova** // Minerals. – 2025. – Vol. 15, Issue 1. – p. 76. DOI: 10.3390/min15010076 (ссылка в диссертации на странице 91).

Александрова, Т.Н. Исследование характеристик межфазной поверхности как ключевого аспекта обоснования реагентного режима при флотации угля / Т.Н. Александрова, В.В. Кузнецов, **Е.О. Прохорова** // Минералы. – 2025. – 15(1). – С. 76. DOI: 10.3390/min15010076

Соискателем проведено детальное исследование межфазных характеристик угля и породообразующих минералов как ключевого элемента обоснования реагентного режима флотации углей. Представлено комплексное изучение поверхностных свойств для обоснования селективного действия реагентов. Установлено, что комбинации депрессоров и собирателей позволяют направленно изменять поверхностные свойства материалов, увеличивая гидрофильность минералов пустой породы при сохранении гидрофобности угля, что приводит к значительному улучшению селективности флотации. Экспериментально подтверждена эффективность предложенного подхода для выбора флотационных реагентов при обогащении мелких классов высокозольных углей.

Публикации в прочих изданиях:

5. **Прохорова, Е.О.** Направленное регулирование поверхностных свойств

углеродсодержащих материалов / **Е.О. Прохорова**, А.Ю. Смирнов // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых: Сборник материалов 16 Международной научной школы молодых ученых и специалистов, Москва, 23–27 октября 2023 года. – Москва: ИПКОН РАН, 2023. – С. 297-299 (ссылка в диссертации на странице 60).

Соискателем рассмотрены вопросы направленного регулирования поверхностных свойств углеродсодержащих материалов, в частности ассоциированных с углем породобразующих минералов, с целью повышения эффективности флотационного обогащения углей. Проанализированы возможности модификации поверхностных характеристик путем применения селективных реагентов-депрессоров. Установлено, что направленное воздействие на полярную и дисперсную составляющие свободной поверхностной энергии позволяет существенно повысить смачиваемость минералов породы.

6. Афанасова, А.В. Повышение качества угольной продукции на примере тонких классов коксующихся углей / А.В. Афанасова, **Е.О. Прохорова** // Современные проблемы комплексной и глубокой переработки природного и нетрадиционного минерального сырья (Плаксинские чтения – 2023): Материалы международной конференции, Москва, 02-05 октября 2023 года - М.: Издательство «Спутник +», 2023. – С. 335 – 337 (ссылка в диссертации на страницах 60, 63).

Выявлены практические аспекты повышения качества угольной продукции путем оптимизации флотационного обогащения тонких классов углей с высокой зольностью. Обоснована необходимость комплексного подхода, включающего оценку флотуруемости мелких фракций и направленное регулирование поверхностных свойств угля и породобразующих минералов с помощью депрессоров. Установлено, что применение селективных реагентов жидкого стекла и органического депрессора позволило улучшить технологические показатели обогащения методом флотации.

7. **Прохорова, Е.О.** Влияние применения аполярного собирателя на процессы обогащения углеродсодержащего материала / **Е.О. Прохорова** // Актуальные проблемы недропользования: Тезисы докладов XX Всероссийской конференции-конкурса студентов выпускного курса и аспирантов, Санкт-Петербург, 2–6 декабря 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, 2025. – Том 1. - С. 115-117 (ссылка в диссертации на странице 75).

Соискателем проведена оценка влияние аполярного собирателя на процессы флотационного обогащения углеродсодержащего материала, с особым вниманием к механизмам взаимодействия реагента с поверхностью

угля и порообразующих минералов. Проведена оценка изменение гидрофобных свойств угля. Подтверждено, что совместное использование аполярного собирателя с селективными депрессорами повышает контраст поверхностных свойств между углем и минералами пустой породы, что особенно важно для эффективной флотации тонких классов. Установлено, что уголь крупностью более 1 мм извлекается непосредственно гравитационным методом. В то же время, применение реагентов помогает увеличить гидрофильные свойства минералов породы, а аполярный собиратель способствует эффективному извлечению частиц угля крупностью менее 1 мм.

8. Кузнецов, В.В. Комплексный подход к исследованию поверхностных явлений при флотации углей / В.В. Кузнецов, **Е.О. Прохорова** // Инновационные процессы обогащения и глубокой переработки редкометаллического и горнохимического сырья и комплексных руд цветных и черных металлов (Плаксинские чтения – 2024): Материалы международной конференции, Апатиты, 23-27 сентября 2024 года – Апатиты : Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2024. - С. 221-224 (ссылка в диссертации на странице 56).

Представлен комплексный подход к исследованию поверхностных свойств при флотации углей, включающий изучение межфазных взаимодействий. Соискатель представил оценку влияния реагентных режимов на смачиваемость поверхности для обоснования выбора реагентов при флотации. Показано, что комплексное применение методов определения краевого угла смачивания, расчета свободной поверхностной энергии и ее составляющих позволило обосновать оптимальные комбинации собирателей и депрессоров, обеспечивающие повышение контрастности поверхностных свойств между углем и минералами породы, что влияет на улучшение показателей обогащения мелких классов высокозольных углей. Показано, что совместная интерпретация методов позволяет обосновать механизмы закрепления реагентов на поверхности угля и прогнозировать эффективность реагентных режимов до проведения лабораторных флотационных опытов.

9. **Прохорова, Е.О.** Направленное регулирование поверхностных свойств угольных шламов для повышения эффективности их флотации / **Е.О. Прохорова** // Современные тенденции развития химической технологии, промышленной экологии и экологической безопасности: Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 10-11 октября 2025 года, Санкт-Петербург. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2025. — С. 76-78 (ссылка в диссертации на странице 53).

Соискателем представлен коэффициент смачивания, легший в основу методики оценки и выбора флотационных реагентов. Отмечено, что оценка свободной поверхностной энергии и соотношения работы адгезии к работе

когезии (W_a/W_k) позволяет количественно характеризовать смачиваемость и флотуруемость угольных частиц. Установлено, что краевой угол смачивания θ при применении депрессоров стремится к нулевому значению, работа адгезии увеличивается. Собиратели имеют противоположное действие – создание несмачиваемой поверхности материала с увеличением краевого угла смачивания θ , из чего выявлено, что работа адгезии должна уменьшаться. Отмечено, что разработанный подход, основанный на комплексной оценке поверхностных свойств и термодинамических параметров смачивания, позволяет создавать основу для направленного подбора реагентов и разработки эффективной технологии флотационного обогащения высокозольных углей.

10. Александрова, Т.Н. Возможности применения термодинамического метода анализа влияния флотационных реагентов на поверхностные свойства угля / Т.Н. Александрова, **Е.О. Прохорова** // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых: Материалы 17 международной научной школы молодых ученых и специалистов, Москва, 27–31 октября 2025 года. – Москва: ИПКОН РАН, 2025. – С. 275-277 (ссылка в диссертации на странице 53).

Соискателем представлены разработанный коэффициент смачивания и методика выбора флотационного реагента направленного действия для улучшения параметров флотуемости материалов через количественный анализ поверхностных свойств. Установлено, что применение веретенного масла приводит к снижению работы адгезии между обработанной поверхностью и водой на 20,43 мН/м, а также к уменьшению коэффициента смачивания на 0,14, что свидетельствует о более эффективном применении реагента веретенного масла при флотации для угля.

Патенты/свидетельства на объекты интеллектуальной собственности:

11. Патент № 2812378 Российская Федерация, МПК В03В 7/00 (2006.01); В03D 1/02 (2006.01); СПК В03В 7/00 (2023.08); В03D 1/02 (2023.08). Способ обогащения угля. Заявка № 2023119782: заявл. 27.07.2023; опубл. 30.01.2024 / Т.Н. Александрова, В.Б. Кусков, **Е.О. Прохорова**; заявитель/патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». – 10 с (ссылка в диссертации на странице 93).

Соискателем разработана технология обогащения угля крупностью класса -6+0 мм методом флотогравитации, пригодная для применения обогащения средних и мелких классов угля с целью повышения извлечения горючей массы. Предложенный способ обогащения угля с применением подобранных технологических решений, комбинации реагентов-депрессоров и собирателей позволил получить концентрат с требуемой зольностью менее

10%.

12. Патент № 2837504 Российская Федерация, МПК В03В 7/00 (2006.01); В03D 1/02 (2006.01); СПК В03В 7/00 (2025.01); В03D 1/02 (2025.01). Способ обогащения угольных шламов. Заявка № 2024126286: заявл. 06.09.2024; опубл. 31.03.2025. / Т.Н. Александрова, В.Б. Кусков, **Е.О. Прохорова**, А.Ю. Смирнов; заявитель/патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». – 9 с (ссылка в диссертации на странице 95).

Соискателем разработана технология обогащения углей, в частности мелких угольных шламов, и может быть использована в угольной, топливной и металлургической промышленности для получения высокосортного, высококалорийного, низкосольного угля. Установлены технологические параметры и реагентный режим для эффективного процесса обогащения углей методом флотогравитации с получением концентрата требуемой зольности.

Апробация работы проведена на научно-практических мероприятиях с докладами:

1. XIX Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (г. Санкт-Петербург, май 2023 года);

2. Международная конференция «Современные проблемы комплексной и глубокой переработки природного и нетрадиционного минерального сырья (Плаксинские чтения – 2023)» (г. Москва, октябрь 2023 года);

3. 16-я Международная научная школа молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (г. Москва, октябрь 2023 года);

4. Международная конференция «Инновационные процессы обогащения и глубокой переработки редкометаллического и горнохимического сырья и комплексных руд цветных и черных металлов (Плаксинские чтения – 2024)» (г. Апатиты, сентябрь 2024 года);

5. Научная конференция студентов и молодых ученых «Полезные ископаемые России и их освоение» (г. Санкт-Петербург, октябрь 2024 года);

6. XX Всероссийская конференция-конкурс студентов выпускного курса и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования» (г. Санкт-Петербург, декабрь 2024 года);

7. XIX Всероссийская молодежная научно-практической конференция «Проблемы недропользования» (г. Екатеринбург, февраль 2025 года);

8. VI Всероссийская научно-практическая конференция «Современные

тенденции развития химической технологии, промышленной экологии и экологической безопасности» (г. Санкт-Петербург, апрель 2025 года);

9. 2025 CUMT-SPMI Symposium on Progress on Mineral Processing Technology (г. Сюйчжоу, май 2025 года);

10. 17-я Международная научная школа молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (г. Москва, октябрь 2025 года).

В диссертации Прохоровой Евгении Олеговны отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: ведущего научного сотрудника Лаборатории обогащения полезных ископаемых ИГД ДВО РАН, к.т.н. **А.В. Рассказовой**; директора Института проблем промышленной экологии Севера – обособленного подразделения ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр РАН», д.т.н. **Д.В. Макарова**; заведующего кафедрой обогащения и переработки полезных ископаемых и техногенного сырья НИТУ «МИСИС», д.т.н., доцента **Ю.В. Конюхова**; заведующего лабораторией, старшего научного сотрудника ИПКОН РАН, к.т.н. **А.Л. Самусева**, (ИПКОН РАН) и старшего научного сотрудника ИПКОН РАН, к.т.н. **А.Ю. Каркешкиной**; профессора кафедры обогащения полезных ископаемых и химических технологий в горном деле ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», д.т.н., доцента **Л.В. Шумиловой**; главного научного сотрудника, заведующего лабораторией 4.2 «Комплексная переработка нетрадиционного минерального сырья» ИПКОН РАН, д.т.н. **А.А. Лавриненко** и ведущего научного сотрудника той же лаборатории, д.т.н., доцента **Г.Ю. Гольберга**; заведующего кафедрой обогащения полезных ископаемых и охраны окружающей среды им. С.Б. Леонова Иркутского национально исследовательского технического университета, д.т.н., профессора **К.В. Федотова**.

В отзывах дана положительная оценка диссертационного исследования, отмечена актуальность выбранной темы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования, логическое построение работы с использованием актуальной научной и статистической информации, однако отмечены ряд замечаний:

1. Следует отметить, что исследование проведено на ограниченной выборке угольных марок (Д, Г, К) и минералов (кварц, кальцит). Учитывая высокую вариативность вещественного состава углей и наличие других минералов, расширение круга изучаемых образцов в дальнейшем могло бы

существенно повысить репрезентативность и универсальность предложенного комплексного подхода. (**к.т.н. А.В. Рассказова**);

2. Можно было бы кратко представить применявшиеся в работе физические и физико-химические методы исследования. (**д.т.н. Д.В. Макаров**);

3. Не приведен реагентный режим пенной флотогравитации. (**д.т.н. Д.В. Макаров**);

4. На какую производительность фабрики рассчитаны экономические показатели? (**д.т.н. Д.В. Макаров**);

5. Насколько универсален предложенный коэффициент для других типов углей (например, бурых) или для руд цветных металлов? Видит ли автор перспективы его применения за пределами углеобогащения? (**д.т.н. Ю.В. Конюхов**);

6. На схеме (рис. 8) не указаны стадии сгущения и фильтрации. Планируется ли их включение в полную промышленную схему? (**д.т.н. Ю.В. Конюхов**);

7. Автору следует уточнить, с какой целью применялась УЗ обработка реагентов, обрабатывалась ли эмульсия реагентов непосредственно перед подачей в процесс или заранее, режимы обработки и частоту работы ультразвуковой установки? (**к.т.н. А.Л. Самусев и к.т.н. А.Ю. Каркешкина**);

8. Каким образом учитывалось влияние глинистых минералов? Не снижают ли глинистые частицы эффективность флотогравитации? (**д.т.н. Л.В. Шумилова**);

9. В автореферате не обоснован выбор композиции депрессоров, включающей пирофосфат натрия и жидкое стекло. (**д.т.н. А.А. Лавриненко и д.т.н. Г.Ю. Гольберг**);

10. Не представлено экспериментальное обоснование подачи реагентов перед измельчением промежуточного продукта, а не после этой операции. (**д.т.н. А.А. Лавриненко и д.т.н. Г.Ю. Гольберг**);

11. За основу выбора депрессоров были взяты данные по кварцу и кальциту. Но при этом не учтено содержание серы в исследованных углях. (**д.т.н. А.А. Лавриненко и д.т.н. Г.Ю. Гольберг**);

12. Недостаточно обоснован выбор эффективных собирателей. Было бы желательно привести данные лабораторных экспериментов по флотации углей с различными собирателями. (**д.т.н. А.А. Лавриненко и д.т.н. Г.Ю. Гольберг**);

13. На кривых обогатимости (рисунок 6) следовало бы обозначить точки, соответствующие наиболее эффективному режиму обогащения. (**д.т.н. А.А. Лавриненко и д.т.н. Г.Ю. Гольберг**);

14. Флотогравитация является процессом низкой производительности. Возможно, при реализации данного метода на практике могут возникнуть проблемы увеличения производительности процесса. (**д.т.н. К.В. Федотов**);

15. Процесс кавитации при эмульгировании флотореагентов хорошо реализуется при лабораторных исследованиях, в маленьком объеме. Автору необходимо пояснить применение данной методики на обогатительной фабрике. (д.т.н. К.В. Федотов)

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертационной работы и их компетентностью в области диссертационного исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан комплексный подход к оценке флотируемости мелких классов высокозольных углей, основанный на количественном определении свободной поверхностной энергии и ее составляющих с последующим расчетом коэффициента смачивания, позволяющий обосновать выбор флотационных реагентов направленного действия; а также технологическая схема обогащения, включающая последовательные операции флотогравитации и флотации с использованием эмульсии, обработанной ультразвуковой кавитацией;

предложена уточненная методика оценки поверхностных свойств материалов, включающая определение свободной поверхностной энергии и ее полярной и дисперсионной составляющих по методу ОВРК с последующим вычислением работы адгезии и коэффициента смачивания, что позволяет научно обосновать выбор флотационных реагентов и повысить эффективность процессов обогащения;

доказана эффективность применения эмульсии веретенного масла с раствором неионогенного ПАВ (соотношение 40:60) для флотации высокозольных углей, обеспечивающая за счет направленного регулирования поверхностных свойств снижение зольности концентрата по сравнению с эмульсией керосина;

введены коэффициент смачивания, основанный на оценке поверхностных свойств, и позволяющий количественно оценить селективность действия флотационных реагентов; математические модели, описывающие зависимость зольности и выхода угольного концентрата от частоты колебаний деки концентрационного стола и расхода аполярного собирателя при применении флотогравитации.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана необходимость использования комплексного подхода к оценке флотируемости, базирующегося на термодинамическом анализе поверхностных свойств (свободная поверхностная энергия и ее составляющие), для направленного регулирования смачиваемости как ценного компонента (угля), так и минералов породы (кварца и кальцита) при флотации и флотогравитации;

применительно к проблематике диссертации результативно **использованы** современные методы физико-химического анализа (определение равновесного краевого угла смачивания), реологии (вискозиметрия), гранулометрического и элементного анализа, термогравиметрии, дифрактометрии, а также методы математического планирования эксперимента для получения адекватных моделей;

изложены закономерности изменения поверхностных свойств углей марок К, Г и Д, а также минералов кварца и кальцита под действием различных флотационных реагентов (аполярные собиратели и депрессоры), выраженные через изменение составляющих свободной поверхностной энергии и предложенного коэффициента смачивания;

раскрыты факторы, лимитирующие эффективность флотации: установлено, что применение эмульсий аполярных реагентов, обработанных ультразвуковой кавитацией, обеспечивает более высокую скорость растекания по сравнению с индивидуальными реагентами, что интенсифицирует процесс закрепления частиц угля на пузырьках воздуха и сокращает время индукции;

изучены термодинамические характеристики процесса термической деструкции углей (энергия активации) для различных классов крупности, коррелирующие с их зольностью;

проведена модернизация методического подхода к обоснованию реагентных режимов флотации, который, в отличие от существующих, включает три этапа: оценку динамической вязкости, определение скорости растекания реагента и детальный анализ поверхностных свойств, что позволяет прогнозировать процессы обогащения.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработана и внедрена методика оценки поверхностных свойств при проведении научно-исследовательских работ (акт о внедрении результатов диссертации в деятельность компании АО «Механобр инжиниринг» от 21.05.2025 г.);

определены оптимальные технологические параметры процессов флотации и флотогравитации, включая расходы реагентов, частоту колебаний деки, режимы ультразвуковой обработки эмульсий, обеспечивающие получение угольных концентратов с зольностью менее 10 %;

созданы способы обогащения угля, защищенные патентами на изобретение № 2812378 (способ обогащения угля) и № 2837504 (способ обогащения угольных шламов);

представлена принципиальная технологическая схема обогащения высокозольных углей мелких классов (-6+0 мм), включающая комбинирование

флотогравитации и флотации, позволяющая формировать два товарных продукта (концентрат флотогравитации и концентрат флотации) и характеризующаяся высокой экономической эффективностью с индексом доходности 4,64 и сроком окупаемости 3,5 года (с дисконтированием).

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ подтверждается достаточным объемом проведенных экспериментальных исследований, их представительностью и сходимостью; применением современного оборудования и средств измерения; **теория** построена на фундаментальных положениях физико-химии поверхностных явлений и теории флотации, изложенных в трудах отечественных и зарубежных ученых, и согласуется с опубликованными экспериментальными данными;

идея базируется на анализе передового опыта в области обогащения угольного сырья и обобщении результатов собственных экспериментально-теоретических исследований взаимосвязи поверхностных свойств и флотируемости минералов;

использованы сертифицированное аналитическое оборудование (спектрометр EDX-7000P, анализатор Mastersizer 2000, термоанализатор SDT Q600, дифрактометр XRD-7000, вискозиметр SV-10) и стандартизованные методики (ГОСТ), что обеспечило высокую точность и воспроизводимость измерений;

установлены количественные зависимости между технологическими параметрами и качественными показателями обогащения: выявлено, что при флотогравитации минимальная зольность концентрата достигается при частоте колебаний деки 220 об/мин и расходе аполярного собирателя 540-580 г/т, а максимальный выход – при сопоставимых значениях этих параметров, что подтверждает адекватность разработанных математических моделей

использованы методы статистической обработки данных и математического планирования эксперимента (критерии Кохрена, Фишера), что подтверждает адекватность разработанных математических моделей.

Личный вклад соискателя состоит в проведении исследований в области направленного регулирования поверхностных свойств материалов и обогащения угольного сырья, сформулированы и решены научно-исследовательские задачи, обоснованы научные положения. Выполнение лабораторных исследований с определением элементного состава проб, поверхностных свойств материалов, исследований по флотации и флотогравитации с последующей обработкой и анализом полученных результатов. Разработка и обоснование технологии обогащения угольного сырья мелких классов на основании подбора селективных реагентов и проведенных исследований в области обогащения угольного сырья.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Прохорова Е.О. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию.

На заседании 11 сентября 2026 года диссертационный совет принял решение присудить **Прохоровой Евгении Олеговне** ученую степень кандидата технических наук за научно обоснованные технологические решения по повышению эффективности переработки высокозольных углей за счет направленного регулирования поверхностных свойств минеральной составляющей и угольной матрицы в процессах флотации и флотогравитации, что имеет существенное народнохозяйственное значение для минерально-сырьевого и металлургического комплекса страны.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 7 докторов наук (по научной специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета



Сизяков
Виктор Михайлович

Николаева
Надежда Валерьевна

11.09.2026 г.