

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего
образования

**"Сибирский государственный
индустриальный университет"
(СибГИУ)**

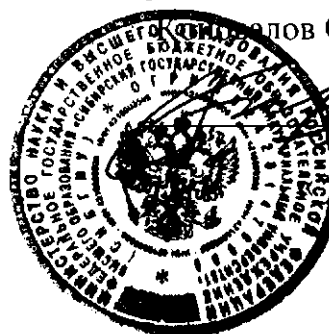
Кирова ул., зд. 42, г. Новокузнецк,
Центральный район,
Кемеровская область – Кузбасс, 654007
Тел.: (3843) 77-79-79. Факс (3843) 46-57-92
E-mail: rector@sibsiu.ru
<http://www.sibsiu.ru>

11.05.2023 № 07-2/1333

на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной
и инновационной деятельности,
доктор технических наук, профессор
Климов Сергей Валерьевич



« 11 » май 2023 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию

Монгуша Григория Романовича

на тему "Совершенствование энерготехнологической переработки спекающихся углей"
по специальности 2.4.6. – Теоретическая и прикладная теплотехника
на соискание учёной степени кандидата технических наук

Актуальность исследований.

В настоящее время необходимым условием для успешного развития угольной промышленности является поиск новых направлений переработки угольного сырья, в том числе повышения эффективности использования его энергетического и химического потенциала. Это приводит к необходимости получения различной продукции из угля (кокс, полукокс, брикеты, сорбенты, углеродные волокна и др.). Диссертация Монгуша Григория Романовича посвящена вопросам энерготехнологической переработки уникальных спекающихся углей, что является возможным решением некоторых экологических проблем энергетической отрасли республики Тыва и подтверждает актуальность темы диссертации. Диссертация соответствует направлению Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (Указ Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642) «Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии».

Цель исследований – совершенствование процессов комплексной энерготехнологической переработки спекающихся углей с получением различных

углеродных материалов, применяемых как товарный продукт в различных отраслях промышленности.

Задачи исследований сформулированы в соответствии с целью исследований и соответствует современным тенденциям использования угля в производстве товарных продуктов, таких как кокс, топливные брикеты, сорбенты и т.д. Поставленные задачи решены в полном объеме, результаты исследований могут быть использованы как на энергетических объектах для снижения выбросов вредных веществ при сжигании спекающихся углей в виде брикетов, так и для угледобывающих предприятий Республики Тыва при разработке решений, направленных на расширение ассортимента продуктов переработки спекающихся углей.

Достоверность результатов, полученных в диссертации, обеспечена применением современных методов исследований и аналитического оборудования Центра коллективного пользования «Исследование физико-химических свойств веществ и материалов» ФГАОУ ВО СФУ; использовании лицензионных систем обработки данных «OPUS» и «TA Universal Analysis 2000» при исследованиях методами ИК-спектроскопии и термогравиметрии; соответствии результатов исследований, полученных автором, результатам других исследователей в этой области. Научные результаты работы достаточно полно опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, в том числе в международных БД WoS и Scopus, широко апробированы на конференциях всероссийского и международного уровня.

Анализ содержания диссертации.

Диссертационная работа сформулировано логично, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и двух приложений. Объем диссертационной работы составляет 165 страниц машинописного текста, в том числе 159 страницы основного текста и 6 страниц приложений, 52 рисунка, 34 таблицы. Список использованных источников содержит 199 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, представлена научная новизна и отражены теоретическая и практическая значимость работы, степень достоверности и апробация результатов.

В **первой главе** представлены характеристики вещественного состава и свойств спекающихся марок углей. Рассмотрены основные способы переработки спекающихся марок углей: коксование, полукоксование, газификация, ожижение, экстракция. Проведен анализ результатов исследований образования бензапирена и сажи при сжигании угля. Количество продуктов неполного окисления в зонах сгорания топлива зависит от химического состава, структуры топлива, количества водорода и полиароматических углеводородов. Тувинские угли марок ГЖ, Ж являются высокоароматизированными спекающимися углями, что приводит к появлению проблем в процессе их энергетического использования. Показаны технические возможности реализации процессов

энерготехнологической переработки спекающихся углей на примере угольных месторождений Республики Тыва.

Во второй главе определены основные технологические характеристики исследуемых углей, влияющие на процесс получения углеродных товарных продуктов. При сравнении молекулярного состава спекающихся и неспекающихся углей подтверждено, что образцы спекающихся углей ГЖ, 1Ж, 2Ж имеют повышенное содержание ароматического углерода по сравнению с неспекающимися углями марки Б, Д. Проведен комплексный термический анализ топливных образцов с применением синхронного термоанализатора «SDT Q600» с одновременной регистрацией отходящих продуктов (CO , CO_2 , C_nH_{n+2} , H_2O и др.), выделяющихся при нагревании угольных образцов. При определении температурных характеристик сжигания спекающихся и неспекающихся углей установлено, что исследованные образцы спекающихся углей характеризуются более высокими показателями по количеству массового выгорания на единицу топлива, чем неспекающиеся. Проведена сравнительная оценка состава газообразных продуктов сгорания спекающихся и неспекающихся марок углей синхронным термогравиметрическим анализом, что позволяет сделать предварительный прогноз количества вредных выбросов при слоевом сжигании. Показано, что при сжигании спекающихся марок углей (ГЖ, Ж1, Ж2) ПАУ (C_nH_{n+2}), и CO выделяется от 2 до 4 раза больше, чем из неспекающихся марок углей (Б, Д).

В третьей главе рассмотрены возможности энерготехнологической переработки спекающихся углей. Для улучшения характеристик исходного спекающегося угля и определения возможности получения продуктов передела установлена возможность обогащения методом фракционного разделения в тяжелых средах. По результатам фракционного анализа каменных углей Каа-Хемского, Чаданского и Элегесткого месторождений определены категории обогатимости углей (II и III). Полученные результаты указывают на возможность обогащения исследуемых углей на обогатительных фабриках. Установлено, что углеродные материалы, полученные при пиролизе из различных по плотности фракций, отличаются по характеристикам (выход кокса, средняя прочность, удельная поверхность, показатели метиленового голубого и оранжевого). Полученные углеродные материалы могут быть использованы для производства из легкой фракции углеродных сорбентов; из средней фракции – полукокса и кокса; из тяжелой фракции – экологически чистого бездымного бытового топлива.

Определены технологические параметры (количество связующего материала 10–15 %, влажность шихты 10–15 %, давление прессования 50–100 МПа и др.) изготовления топливных брикетов из спекающихся углей и монтмориллонитовой глины месторождений Тывы в качестве связующего, что позволяет формировать топливные брикеты достаточной прочности. Методами ИК-спектроскопии и термогравиметрии установлено, что механохимические процессы, протекающие при изготовлении топливных брикетов, влияют на изменения структурных параметров и свойств углей (снижаются показатели ароматичности (AR_1 и AR_2) и спекаемости ($\text{CH}_a/\text{C}=\text{C}_{ar}$), увеличивается степень

окисленности ("C=O"), сдвигаются температурные интервалы термоокислительной деструкции углей).

Проведено сравнительное экспериментальное сжигание рядового угля марки ГЖ и брикетов, полученных из того же угля, на огневом стенде, моделирующем горение твердого топлива в печи с теплообменником и в модифицированном котле. Установлено, что механический недожог в модифицированном котле снижается с 60 до 34% по сравнению с печью с теплообменником, а сжигание спекающегося угля в виде брикетов приводит к снижению мех.недожога с 60 до 10%. Представлены результаты исследования возможности утилизации золошлаковых отходов после сжигания спекающихся углей Тувы. Установлено, что золы углей марок ГЖ и 2Ж могут быть использована в качестве активных наполнителей при производстве строительных материалов.

Проведены исследовательские работы по получению углеродных сорбентов и определению их адсорбционных свойств, установлена возможность переработки тувинских углей для получения конкурентоспособных дешевых сорбентов с высокими сорбционными характеристиками.

В четвертой главе показана возможность энерготехнологической переработки спекающихся углей с получением инновационных углеродных материалов применением высокотемпературного пиролиза спекающихся углей под давлением собственных летучих веществ. В результате эксперимента выявлено, что при пиролизе спекающихся марок углей ГЖ с увеличением давления в реакторе (от 0,11 до $\approx 15,6$ МПа), за счет выделения в зоне пиролиза собственных летучих веществ, возникает уплотнение массы углеродного остатка (снижение удельной поверхности с 48 до 5 м²/г). С дальнейшим ростом температуры (до 900 °С) и процессом прокаливания углеродного остатка в структуре проявляются различные конденсированные фазы углерода. Для анализа полученных данных и проверки предположений был использован метод Монте-Карло.

В заключении приведены основные результаты, полученные в рамках данной диссертационной работы.

По теме диссертации опубликовано 27 печатных работ, в том числе 9 работ в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ для опубликования результатов диссертационных исследований, 1 работа в международной базе Web of Science, 15 работ – в трудах международных и всероссийских научно-технических конференций и 2 работы в других изданиях.

Значимость для науки состоит в возможности расширения методов исследований и областей применения спекающихся углей, в создании теоретических предпосылок для возможности проектирования технологических процессов по энерготехнологической переработке спекающихся углей и дальнейшего изучения вопросов глубокой переработки спекающихся углей месторождений Республики Тыва.

Научная новизна

В ходе выполнения научных исследований автором диссертации получены следующие результаты, обладающие научной новизной:

1. Установлено, что угли Улуг-Хемского бассейна относятся ко 2-ой и 3-ей категориям обогатимости, что определяет их пригодность для промышленного обогащения; повышенное содержание ароматических структур в составе органической массы (по ИК структурному показателю AR1, AR2 и температурными характеристиками при термическом анализе) образцов спекающихся углей (Ж, ГЖ) по сравнению с неспекающимися углями (Д, Б) приводит к увеличению содержания в 2–4 раза полиароматических углеводородов и монооксида углерода в отходящих газах. Повышенное содержание ПАУ в исследуемых образцах подтверждено экспериментально.

2. Найдены оптимальные технологические параметры изготовления топливных брикетов из спекающегося угля марки ГЖ (количество связующего материала (монтмориллонитовая глина) 10–15 %, влажность шихты 10–15 %, давление прессования 50–100 МПа и др.) позволяющие формировать прочные брикеты. Установлено, что в процессе брикетирования уголь подвергается механоактивации и сушке в естественной среде, что приводит к частичному окислению поверхности угольных частиц, изменению температурных диапазонов процесса терморазложения (500–750 °С) и способствуют снижению его спекающей способности и, в конечном итоге, к снижению выхода канцерогенных летучих продуктов.

3. Определено влияние щелочной обработки на характеристики спекающихся марок углей. Обосновано применение высоких концентраций щелочи ($R_{\text{кон}} = 1:4$) в процессе получения углеродных сорбентов с высокими показателями сорбционных и текстурных характеристик (с удельной поверхностью до 2300 м²/г и объемом пор 0,933 см³/г), что позволяет использовать их для очистки промышленных стоков.

4. Установлено, что при пиролизе спекающихся углей под давлением (до ≈ 15.6 МПа) собственных летучих веществ существенно увеличивается выход углеродного материала (с 55,9 до 75,2 %). С увеличением температуры до 900 °С в структуре углеродного материала проявляются различные конденсированные фазы углерода (углерод (С, JPCDS, 46-945); клифтонит (С, JPCDS, 34-567); углерод (С, JPCDS, 18-311); углерод (С, JPCDS, 47-1155); графит (С, JPCDS, 26-1076)), которые могут быть перспективным прекурсором для получения углеродных материалов различного применения; впервые методами КР-спектроскопии и РФА-анализа, обнаружено появление в составе углеродного материала молекулярных фрагментов, состоящих из атомов углерода с различным соотношением sp²/sp³-гибридизованных атомов углерода, в частности алмазоподобный углерод (С, JPCDS, 47-1155) и графит (С, JPCDS, 26-1076).

5. Определена возможность применения метода Монте-Карло для прогнозирования количества пор в углеродном остатке при пиролизе спекающихся углей, что позволяет комплексно оценивать влияние управляющих воздействий (концентрация горючего

вещества, температура сырья; скорость, плотность и температура потока) на режимы работы оборудования уже на стадии проектирования установок и обеспечивающие повышение точности расчетов характеристик процесса до 2–7 %.

Полученные результаты соответствуют п. 1. Теплофизические свойства чистых веществ...; связи между строением веществ и их феноменологическими свойствами; методы расчета термодинамических и переносных свойств в различных агрегатных состояниях; п. 6. Научные основы повышения эффективности использования энергетических ресурсов в теплотехническом оборудовании... паспорта специальности 2.4.6 – теоретическая и прикладная теплотехника (технические науки).

Значимость для производства заключается в обосновании и разработке технологических решений использования спекающихся углей на примере угольных месторождений Республики Тыва. Полученные результаты прошли апробацию и внедрение в МУП департамента городского хозяйства мэрии города Кызыла и легли в основу формулирования перспективных направлений использования углей в разделе Топливо-энергетического комплекса в Программе «О Стратегии социально-экономического развития Республики Тыва до 2030 года» (Постановление правительства Республики Тыва от 24 декабря 2018 года с изменениями на 28 июля 2020 года).

Вопросы и замечания к диссертации:

1. В ряде теоретических положений нет четкого разграничения выкладок автора от используемых материалов других исследователей.
2. На с. 10 автореферата указано: «Теплота сгорания углей закономерно увеличивается в ряду: Б – Д – ГЖ – Ж2 – Ж1, а также с увеличением степени их метаморфизма увеличивается содержание углерода и водорода, однако уменьшается содержание кислорода». Данное утверждение относительно роста содержания водорода в углях с увеличением степени их метаморфизма нуждается в дальнейшем уточнении, так как противоречит данным ряда исследователей, в том числе данным самого автора, приведенным в табл. 6 диссертации.
3. На с. 11 диссертации в разделе «Петрографическая характеристика каменных углей» основное внимание уделено содержанию макрокомпонентов в углях и практически ничего не говорится о содержании микрокомпонентов, хотя именно эта характеристика позволяет разнести угли по видам, классам, категориям и типам (ГОСТ 25543-2013. Угли каменные, бурые и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам).
4. Отмечены небольшие неточности в терминологии:
 - в табл. 5 (с. 40 диссертации) приведены значения теплоты сгорания, но не указывается, о высшем или низшем значении показателя, а также о каком состоянии угля идет речь;
 - спекаемость и коксуемость – не идентичные понятия, как это утверждается на с. 11 диссертации;

- в соответствии с ГОСТом 25543-2013 марки углей обозначаются 1Ж и 2Ж, первый жирный и второй жирный соответственно, а не Ж1 и Ж2, как указано в таблице 5 с. 40 диссертации.

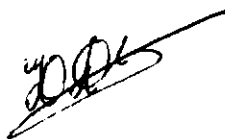
Указанные замечания не снижают значимости работы, а только показывают значительный объем работы, проделанной автором и возможные направления дальнейших исследований.

Рассмотрев диссертационную работу в комплексе, можно сделать заключение, что, несмотря на высказанные замечания, диссертация Монгуша Григория Романовича имеет внутреннее единство и является завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технологические решения и разработки в области энерготехнологической переработки спекающихся углей, имеющие существенное значение для развития экономики Республики Тыва и России в целом.

Диссертация соответствует требованиям п.9. «Положения о присуждении ученых степеней» постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2023 г. № 842, а её автор Монгуш Григорий Романович достоин присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Отзыв на диссертацию и автореферат рассмотрен и одобрен на заседании кафедры открытых горных работ и электромеханики Сибирского государственного индустриального университета от « 11 » мая 2023 г., протокол № 10

Директор Института горного дела и геосистем
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный
индустриальный университет»,
профессор кафедры открытых горных
работ и электромеханики,
доктор технических наук, профессор
Тел.: +7 (3843) 77-79-79.
E-mail: proshunin_ue@mail.ru



Юрий
Евгеньевич
Прошунин

Заведующий кафедрой открытых горных работ
и электромеханики.
кандидат технических наук, доцент
Тел.: +7 903-069-3143
E-mail: chief.v.v@yandex.ru



Валерий
Васильевич
Чаплыгин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
654007, Кемеровская область - Кузбасс,
г. Новокузнецк, Центральный р-н, ул. Кирова, зд. 42.