

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации Коссович Елены Леонидовны на тему «Теоретическое и экспериментальное обоснование критериальных показателей для прогноза пылеобразования при разрушении углей и их склонности к самовозгоранию», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.12 – «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ», состоявшейся в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (НИТУ МИСИС) 5 марта 2024 г.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ МИСИС 20.11.2023 (Протокол №15).

Диссертация выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС».

Научный консультант – Эпштейн Светлана Абрамовна, доктор технических наук, зав. НУИЛ «Физико-химии углей», профессор кафедры БЭГП.

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ МИСИС 20.11.2023 (Протокол №15) в составе:

1. Бейлина Наталия Юрьевна - доктор технических наук, ведущий эксперт научного проекта НУИЛ «Физико-химии углей» НИТУ МИСИС – председатель.

2. Дзидзигури Элла Леонтьевна – доктор технических наук, профессор кафедры «Функциональные наносистемы и высокотемпературные материалы» НИТУ МИСИС.

3. Пешнев Борис Владимирович – доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии нефтехимического синтеза и искусственного жидкого топлива Института Тонких Химических Технологий им. М.В. Ломоносова РТУ-МИРЭА.

4. Бухаркина Татьяна Владимировна – доктор химических наук, профессор кафедры «Химической технологии природных энергоносителей и углеродных материалов» РХТУ им. Д. И. Менделеева.

5. Малинникова Ольга Николаевна – доктор технических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник лаборатории № 2.1. «Многофазных процессов в массивах горных пород при разработке месторождений» федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук (ИПКОН РАН).

6. Жеребцов Сергей Игоревич – доктор химических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией химии органических компонентов углей Федерального государственного бюджетного научного

учреждения «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» (ФГБНУ ФИЦ УУХ СО РАН).

7. Киряева Татьяна Анатольевна – доктор технических наук, старший научный сотрудник отдела экспериментальной геомеханики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук.

В качестве ведущей организации утверждено федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева».

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований (соответствуют пп. 6 и 13 паспорта специальности 2.6.12 – «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ»):

установлено, что генезис и метаморфизм углей определяют характер деформирования витринита, что проявляется в его трансформации от пластического для бурых углей, упруго-пластического для каменных и упругого для антрацитов;

выявлено, что разномасштабная нарушенность угольного вещества проявляется в снижении его твердости с увеличением нагрузки при микро- и наноиндентировании;

на основании разработанных математических моделей **показано**, что при инструментальном индентировании углей, в зоне контакта с индентором происходит разрушение угольного вещества с образованием ядра раскрошенного материала, размеры частиц в котором не превышают 10 мкм;

показано, что механизм разрушения витринита углей с образованием тонкодисперсной пыли определяется соотношением в его составе аморфных и кристаллитных форм соединений углерода;

установлено, что содержание тонкодисперсной пыли в пылевой фракции рядового угля определяется механизмом разрушения витринита при циклическом наноиндентировании с увеличивающейся нагрузкой и соотношением аморфных и кристаллитных форм соединений углерода;

на основании экспериментальных данных и математического моделирования **обоснованы** критериальные показатели для прогноза образования тонкодисперсной пыли при механических воздействиях на угли: соотношение аморфных и кристаллитных форм соединений углерода в витрините углей и количественный показатель, отражающий механизм разрушения витринита углей с образованием тонкодисперсной пыли при циклическом наноиндентировании с увеличивающейся нагрузкой;

применение кинетического моделирования для обработки экспериментальных результатов по взаимодействию углей с озоном позволило **обосновать** критериальные показатели оценки склонности углей к окислению и самовозгоранию: структурный показатель, отражающий соотношение аморфных

и кристаллитных форм соединений углерода в витрините углей и отношение активности центров разных типов по отношению к озону.

Теоретическая значимость и новизна исследования

применительно к тематике диссертационного исследования (то есть с получением обладающих новизной результатов):

теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены три механизма разрушения углей с образованием тонкодисперсной пыли при циклическом наноиндентировании с увеличивающейся нагрузкой: «локальное разрушение», «разрушение в объеме» и «переходная зона»;

на основании анализа P-h диаграмм, **впервые показано**, что антрациты проявляют свойство упругого деформирования, в отличие от существующих представлений об их пластичности или хрупкости;

впервые установлено, что в диапазоне нагрузок от 4 мН до 1 Н разномасштабная нарушенность углей проявляется в пропорциональном снижении их твердости при увеличении нагрузки, что не позволяет использовать твердость как показатель надежной характеристики механических свойств углей при инструментальном индентировании;

разработана математическая модель, описывающая особенности разрушения угольного вещества в зоне контакта с индентором, которая позволяет рассчитать энергию, затраченную на образование ядра раскрошенного материала, и размеры образующихся частиц.

впервые показано, что средний размер частиц в ядре не превышает размеры тонкодисперсной пыли и экстремально изменяется в ряду метаморфизма каменных углей, достигая максимума при показателе отражения витринита $R_{o,r}=0.9\%$;

на основании результатов экспериментальных исследований механических свойств витринита углей, для описания механизма его разрушения с образованием тонкодисперсной пыли **предложен** количественный показатель, отражающий относительное изменение модуля упругости витринита при циклическом наноиндентировании с увеличивающейся нагрузкой;

выявлена корреляционная зависимость между количественным показателем, характеризующим механизм разрушения углей при циклическом наноиндентировании с увеличивающейся нагрузкой и соотношением аморфных и кристаллитных форм соединений углерода в веществе витринита;

экспериментально **установлены** зависимости между содержанием тонкодисперсной пыли в пылевой фракции угля, механизмом разрушения вещества витринита при циклическом наноиндентировании с увеличивающейся нагрузкой и соотношением в нем аморфных и кристаллитных форм соединений углерода. Зависимости описываются кусочно-линейными аппроксимациями и могут быть использованы для прогноза пылеобразования углей на стадии разведки и эксплуатации угольных месторождений;

предложена и экспериментально подтверждена кинетическая модель для оценки химической активности углей при окислении, основанная на гипотезе о

наличии в углях двух типов активных центров, различающихся скоростью деактивации при взаимодействии с озоном;

выявлено влияние метаморфизма углей на активность центров с высокой скоростью деактивации при взаимодействии углей с озоном;

показано, что максимальная скорость тепловыделения при низкотемпературном окислении углей и температура начала их горения определяются соотношением активности центров, различающихся скоростью деактивации при взаимодействии с озоном.

Результаты, полученные автором в диссертационном исследовании, значительно расширяют существующие представления о влиянии генезиса и метаморфизма углей на их структуру и свойства, определяющие поведение углей при внешних механических и химических воздействиях. Предложенные автором теоретические модели и результаты экспериментальных исследований позволили установить фундаментальные взаимосвязи между особенностями надмолекулярной структуры углей, механизмом их разрушения на масштабных уровнях, сопоставимых с размерами тонкодисперсной пыли и склонностью к окислению и самовозгоранию.

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

Научные результаты диссертационной работы имеют широкие перспективы практического применения, в том числе для ранжирования углей по их склонности к окислению и самовозгоранию, что позволяет, в дальнейшем, перейти к разработке мероприятий по условиям хранения и транспортировки угольной продукции в части предотвращения потери качества и рисков эндогенного возгорания. Использование критериальных показателей, отражающих способность углей к образованию при разрушении тонкодисперсной пыли, уже на стадии геологической разведки и эксплуатации месторождений, даст возможность планировать технологии добычи, прогнозировать состав рудничной атмосферы по пылевому фактору, запыленность атмосферы рабочей зоны и эмиссию тонкодисперсной пыли, эффективность обогащения и качество угольной продукции. Это соответствует основным целям Программы развития угольной промышленности России на период до 2035 года (утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 июня 2020 г. № 1582-р), которые заключаются в разработке научно-технических и технологических мероприятий, направленных на предупреждение самовозгорания углей и породных отвалов и внедрении наилучших доступных технологий при добыче, переработке и перевалке угля в целях минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

Предложенные автором критериальные показатели склонности углей к самовозгоранию и методы их определения рекомендуется использовать в деятельности проектных, научно-исследовательских организаций и надзорных органов для разработки нормативной и методической документации, регламентирующей порядок пожаробезопасного хранения и перемещения углей,

профилактические мероприятия по предотвращению их возгорания и сохранения качества продукции.

Внедрение результатов диссертационной работы в практику промышленных предприятий подтверждает их значимость для отрасли в решении проблем экологической безопасности и повышения качества продукции. Разработанное автором «Руководство по определению способности углей к разрушению с образованием тонкодисперсной пыли» принято к использованию группой предприятий АО «Стройсервис» для ранжирования углей по «пылевому» фактору и применения дифференцированного подхода на всех стадиях производства для минимизации пылеобразования и его негативного влияния на окружающую среду.

Предлагаемые в работе решения по определению структурных показателей углей, соотношения активности центров разных типов при взаимодействии углей с озоном, а также тепловых эффектов, сопровождающих низкотемпературное окисление углей, приняты к использованию на АО «Разрез Харанорский» (АО СУЭК) для определения склонности к самовозгоранию бурых углей предприятия и разработки мероприятий по снижению рисков при хранении углей и их транспортировке.

Теоретические и методические подходы, разработанные в диссертации, внедрены ФГБУ «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны» (ФГБУ ВНИИПО МЧС России) в ходе выполнения плановой НИР «Разработка метода термогравиметрического анализа для определения степени участия смесей угольной и сланцевой пыли во взрыве и определения возможности повторных взрывов в ходе ликвидации ЧС» (утверждённого приказом МЧС России от 29 января 2021 № 37) для оценки пылеобразования углей при их разрушении и прогноза дисперсного состава и концентрации витающей пыли.

Результаты работы используются в учебном процессе в курсе «Физико-технический контроль минерального сырья, продукции и отходов предприятий горной промышленности» по направлению подготовки специалитета 21.05.05 «Физические процессы горного или нефтегазового производства».

Оценка достоверности результатов исследований выявила:

идея работы базируется на представлениях о том, что образование тонкодисперсной пыли определяется особенностями механизма разрушения витринита углей на масштабных уровнях, сопоставимых с размерами частиц пыли, а склонность углей к самовозгоранию зависит от наличия на поверхности углей активных центров, различающихся скоростью деактивации в процессах низкотемпературного окисления;

использование стандартных методов и хорошо апробированных методик для характеристики состава и свойств углей;

удовлетворительную сходимость результатов параллельных измерений механических свойств углей, параметров их низко- и высокотемпературного

окисления, гранулометрического состава пыли, спектральных характеристик комбинационного рассеяния углей;

воспроизводимость результатов определения характера деформирования, модуля упругости и показателя нарушенности при микро- и наноиндентировании в ряду метаморфизма углей (бурых, каменных и антрацитов) разных месторождений, выполненных в разное время и при неоднократном повторении;

использование в экспериментальных исследованиях аппаратного обеспечения с высокими метрологическими характеристиками;

использование современного программного обеспечения для математического моделирования и обработки результатов измерений, проведенных для большого количества представительных проб углей разных стадий метаморфизма;

экспериментальную валидацию результатов математического моделирования механизма разрушения углей с образованием тонкодисперсной пыли и кинетики их взаимодействия с озоном.

Личный вклад соискателя состоит в:

анализе и обобщении научно-технических литературных источников по теме диссертационной работы для обоснования ее актуальности и новизны;

постановке цели и задач работы;

планировании и непосредственном проведении теоретических и экспериментальных исследований по оценке механических свойств и разрушения отдельных мацералов углей и характеристик низко- и высокотемпературного окисления углей;

непосредственном участии в разработке математических моделей деформирования и разрушения угольного вещества при взаимодействии с индентором, кинетических моделей для оценки параметров низко- и высокотемпературного окисления углей;

обработке, анализе и интерпретации полученных экспериментальных данных и результатов теоретического моделирования;

формулировке основных научных положений, результатов и выводов диссертации;

личном участии в апробации результатов исследования и подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Соискатель представил 37 печатных публикаций, из них – 29 в изданиях, индексируемых в RSCI и Scopus (20 - в журналах, рекомендуемых ВАК по специальности защищаемой диссертации).

Пункт 2.6 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС соискателем ученой степени не нарушен.

Диссертация Коссович Е.Л. соответствует критериям раздела 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС, представляет собой

завершенную научно-исследовательскую работу, так как в ней на основании выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований решена актуальная научная проблема установления взаимосвязей между генезисом углей, их структурой, склонностью к самовозгоранию и способностью к образованию при механических воздействиях тонкодисперсной пыли, имеющая важное хозяйственное значение для повышения качества угольной продукции и минимизации негативного воздействия на окружающую среду при добыче и переработке углей.

При проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 7 человек, участвовавших в заседании, из 7 человек, входящих в состав комиссии, проголосовала: за - 7, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Экспертная комиссия на основании проведенного тайного голосования приняла решение присудить Е. Л. Коссович ученую степень доктора технических наук по специальности 2.6.12 - «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ».

Председатель Экспертной комиссии



Бейлина Н. Ю.

05.03.2024