

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Зо Е Нанг на тему  
«Ископаемые угли месторождений Мьянмы Калейва и Тиджит, как источники  
сырья для технологии активных углей», представленную на соискание ученой  
степени доктора технических наук по специальности 2.6.7 Технология  
неорганических веществ

### Актуальность диссертационной работы.

Республика Союз Мьянма – государство с преобладанием в растущей экономике аграрного сектора, но имеющая развивающую промышленность. Известно, что для борьбы с вредными выбросами и сбросами используют активные угли, производство которых в стране отсутствует. В государстве имеются разведанные месторождения низкосернистых ископаемых углей. Они мало изучены и могут представлять сырьевую базу для получения активных углей (углеродных адсорбентов). Поэтому исследования, направленные на решение многочисленных проблем Мьянмы в области защиты окружающей среды с помощью активных углей, полученных путем переработки ископаемых углей месторождений страны (Калейва и Тиджит), являются актуальными и практически значимыми.

Цель работы: разработка теоретических положений и научно-обоснованных технологических решений, ориентированных на обоснование реализации значимой для экономики Мьянмы проблемы организации производства на базе отечественных каменноугольных месторождений активных углей.

### Научная новизна.

В работе в соответствии с направлениями исследований паспорта научной специальности 2.6.7. «Технология неорганических веществ» впервые: результатами химических, петрографических и термических исследований внесен вклад в область научных знаний об ископаемых углях путем оценки ряда характеристик углей месторождений Калейва и Тиджит, свидетельствующий о целесообразности их исследования в качестве сырья для получения углеродных адсорбентов; с привлечением термографического анализа в защитной и окислительной атмосферах установлены целесообразные пределы термического воздействия на названное сырьё и науглероженные продукты его пиролиза и активации его целевых продуктов водяным паром в атмосфере продуктов их деструкции; выявлены закономерности влияния

сырьевых факторов и параметров, управляющих процессами пиролиза ископаемых углей названных месторождений, их химической активации (с использованием NaOH, KOH,  $ZnCl_2$ ,  $K_2CO_3$ ) и активации продуктов пиролиза водяным паром (интенсивности нагревания, предельной температуры, длительности изотермической обработки, удельного расхода водяного пара, состава сырьевых композиций) на выход и структурно-адсорбционные свойства целевых продуктов; обоснованы условия получения активных углей химической активации с KOH и паровой активации на базе ископаемых углей обоих месторождений, превосходящих известные аналоги в глубине очистки воды (в том числе питьевой) от фенола и этилбензола, соответственно; совокупностью полученных результатов выявлены рациональные сочетания значений параметров, управляющих названными термическими пределами с показателями выхода и структурно-адсорбционных свойств их целевых продуктов; установлены кинетические зависимости эффективности извлечения органических примесей полученными активными углями из производственных стоков от их дозы (применительно к многокомпонентным сточным водам выпуска № 1 АО «Москокс») и фиксации ими плавающих пленок дизельного топлива; оценены кинетические и равновесные характеристики процессов использования полученных активных углей при извлечении из воздушных потоков паров летучих органических растворителей (на примере н-бутанола).

Итоги выполненных исследований свидетельствуют о расширении научных представлений о переработке ископаемых углей на углеродные адсорбенты и потенциально увеличена номенклатура активных углей.

#### Основные положения, выносимые на защиту.

1. Результаты химических, петрографических и термографических исследований сырья, ориентированных на обоснование целесообразности его использования для получения углеродных адсорбентов и оценки областей температурного воздействия на него при пиролизе и активации паром.
2. Экспериментально обоснованные условия реализации процессов пиролиза сырья, его химической активации и активации водяным паром карбонизированных продуктов пиролиза, обеспечивающие рациональное сочетание выхода и структурно-адсорбционных свойств целевых продуктов.
3. Ансамбль технических показателей и поглотительных свойств целевых продуктов, характеризующий их как адсорбенты.

4. Сопоставительные оценки эффективности использования полученных адсорбентов в процессах очистки производственных стоков от органических примесей, фиксации пленочных разливов дизельного топлива на водной поверхности и извлечения паров летучих органических растворителей из их смесей с воздухом.

5. Принципиальная аппаратурно-технологическая схема производства 50 т в год активных углей в условиях Мьянмы из названного сырья и итоги примерной оценки себестоимости их получения.

#### Теоретическая и практическая ценность.

В работе впервые установлен характер влияния использованного сырья на режимные параметры операций его пиролиза, химической активации и активации водяным паром продуктов пиролиза; обоснованы целесообразные условия реализации названных операций, обеспечивающие рациональные сочетания выхода и структурно-адсорбционных свойств целевых продуктов; оценен ансамбль тестируемых показателей пористой структуры, поглощательных свойств и технических характеристик полученных адсорбентов, свидетельствующий наряду с результатами их прикладного использования о вероятной конкурентоспособности данных поглотителей; для лучших активных углей, полученных на базе ископаемых углей месторождений Калейва и Тиджит, осуществлена ориентировочная технико-экономическая оценка себестоимости их производства при производительности 50 т в год; показана принципиальная возможность и целесообразность реализации в условиях Мьянмы разработанных технологий, способных обеспечить национальные потребности страны и расширить номенклатуру активных углей на мировых рынках.

#### Содержание диссертационной работы.

Работа Зо Е Наинг является завершенным научно-экспериментальным исследованием, изложенным на 314 страницах, содержит 139 таблиц и 67 рисунков. Диссертация включает введение, 5 глав, заключение, выводы, список используемых источников информации из 306 наименований цитируемых работ российских и зарубежных авторов и приложения.

Во введении диссертант обосновывает актуальность, формулирует цель и задачи, научную новизну, теоретическую и практическую значимость своей работы.

В первой главе автор приводит аналитический обзор научно-технической литературы, посвященной общим сведениям об ископаемых углях, их генезисе, структуре,

минеральных включениях, а также об активных углях, способах их производства и применении для защиты биосферы. Рассмотрены основы физической адсорбции на активных углях и некоторые природоохранные проблемы Мьянмы. Литературный обзор завершен выводами и задачами исследовательской работы.

Во второй главе описаны опытные установки для термической обработки ископаемых углей фракции 3-5 мм с последующей паровой и химической активацией карбонизованного продукта. Представлены аналитические методы анализа полученных материалов с указанием использованных приборов, обеспечивающих точность и надежность выполненных исследований.

В третьей главе подробно представлена оценка эффективности термической переработки ископаемых углей месторождений Мьянмы с последующей парогазовой и химической активацией.

Экспериментально обоснована пригодность сырья (ископаемые угли Мьянмы) с помощью петрографических, термографических и химических методов анализа. Определен химический состав сырья. Обоснованы рациональные условия получения активных углей пиролиза и активации различными агентами (скорость нагревания, конечная температура, время изотермической выдержки, удельный расход агентов). Используются следующие агенты для активации: водяной пар, гидроокись натрия, гидроокись калия, углекислый калий, хлористый цинк. Изучены выходы, технические характеристики карбонизата и активных углей, полученных в рациональных условиях: суммарный объем пор, объемы пор по адсорбции паров воды, четыреххлористому углероду, бензолу, адсорбционная активность по метиленовому голубому, йоду (йодное число) по сравнению с известными угольными концентратами российских обогатительных фабрик.

Положительной оценкой работы являются исследования побочных продуктов пиролиза и активации. Исследованы конденсаты, неконденсированные газы. Хроматографическим методом анализа установлен состав неконденсированных газов и определены физические свойства конденсатов (интервал кипения, pH, плотность, прозрачность, выход) путем перегонки. Изучена пористая структура, распределение пор по размерам карбонизатов и активных углей. Анализ полученных данных по сравнению с известным активным углем AP-B показал, что процесс активации карбонизата, полученного из ископаемых углей месторождения Калейва с применением едкого кали обеспечивает развитие его структурно-адсорбционных свойств.

Особое внимание в работе заслуживает решение прикладных задач: использование полученных углеродных адсорбентов и отходов их производства для фиксации плавающих нефтепродуктов с возможностью их последующей регенерации, извлечение из воздуха паров летучих органических растворителей, обработка сточных вод коксохимического производства «Москок», удаление этилбензола, фенола из воды. Необходимо отметить, что полученные результаты свидетельствуют об их конкурентоспособности в сравнении с коммерческими активными углями России. Активный уголь, полученный из ископаемого угля месторождения Тиджит активацией водяным паром, показал эффективность около 80% для фиксации плавающих нефтепродуктов.

Установлено, что адсорбент, полученный из ископаемого угля Калейва паровой активацией, обладает более высокой величиной адсорбции паров н-бутанола из паровоздушной смеси, чем известный активный уголь БАУ, но уступает по активности активным углям на базе кожуры плодов тамаринда, скорлупы кокосовых орехов и косточек сливы.

Изучена эффективность активного угля, полученного из ископаемого угля Калейва химической активацией карбонизата КОН, при очистке сточных вод АО «Москок» при дозе угля 0,3 г/л. О чем свидетельствует уменьшение содержания общего органического углерода.

Активный уголь, полученный из ископаемых углей Калейва паровой активацией, показал высокую адсорбционную активность по отношению к этилбензолу (патент РФ № 2776530 С1). Активный уголь, полученный химической активацией с КОН из ископаемых углей Тиджит, обладает высокой величиной поглощения фенола из воды (патент РФ № 2829815 С1).

В пятой главе приведена предлагаемая технология получения активных углей на базе ископаемых углей месторождений Калейва и Тиджит, включающая в себя блок-схему производства зеренных активных углей методом химической активации с едким кали (КОН). Проведена технико-экономическая оценка проектируемого производства 50 т в год активных углей из ископаемых углей указанных месторождений. Представленные расчеты подтверждают актуальность и высокую значимость работы.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций.

Результаты исследований позволяют сделать вывод, что диссертант достиг поставленной цели и выполнил поставленные задачи. Достоверность полученных данных не вызывает сомнений, так как использован широкий набор современных физико-химических методов исследований: петрографический, термографический, низкотемпературная адсорбция азота, газохроматографический.

Вопросы:

1. Для каких природоохранных задач Республики Союз Мьянма возможно применение разработанных активных углей?
2. Что такое удельная фиксация пленочного дизельного топлива? Методы определения данного показателя?
3. Объясните, пожалуйста, различные адсорбционные характеристики активных углей, полученных карбонизацией с последующей паровой и химической активацией из ископаемых углей Мьянмы?
4. Какие показатели характеризуют пористую структуру активных углей?

Замечания и рекомендации.

1. Отсутствует перечень сокращений (ГОСТ Р 7.0.11-2011).
2. В тексте диссертации используется термин «сажа», а не технический углерод (стр. 27).
3. Отсутствуют ссылки на литературу (стр. 1, 34, 80).
4. В некоторых таблицах отсутствуют единицы измерения показателя «относительное время активации» (табл. 4, стр. 37,).
5. Отсутствует расшифровка показателей теханализа (табл. 9, стр. 49).
6. Повторы в списке литературы (95, 77).
7. Отсутствует рис. 2.3 (стр. 117).
8. Показатель поглощения: йодное число (мг/г), а не поглощение по йоду (%) (табл. 21-23, 27, 28, 32, 33, 35-37, 39-41, 43).
9. Нет подписей к техническим характеристикам (табл. 42, 44).
10. Отсутствует статистическая обработка данных в таблицах.
11. Оптовая цена за единицу продукции указана неправильно (табл. 55, с. 229).
12. Целесообразно для анализа полученных данных определить объем микро-, мезопор активных углей, удельную площадь поверхности по азоту (по БЭТ).

Сделанные замечания носят рекомендательный характер и не влияют на положительную оценку диссертации, как о законченной работе, выполненной на современном научно-техническом уровне.

#### Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям.

Основные положения диссертации отражены в опубликованных работах. Опубликовано 12 статей в журналах, индексируемых в международных базах данных. Получено 2 патента РФ. Полученные автором результаты научного исследования обсуждены на 22 научных международных и всероссийских конференциях. Это свидетельствует об их широкой апробации.

Автореферат диссертации достаточно полно отражает основное содержание диссертации и достигнутые результаты.

Диссертационная работа Зо Е Наинг является завершенным полноценным развернутым исследованием, имеющим научную новизну, теоретическую и практическую значимость, ее содержание полностью отвечает требованиям паспорта специальности ВАК 2.6.7 Технология неорганических веществ.

#### Заключение.

Диссертационная работа Зо Е Наинг на тему «Ископаемые угли месторождений Мьянмы Калейва и Тиджит, как источники сырья для технологии активных углей» выполнена самостоятельно на высоком научном уровне на актуальную тему. В ней получены новые и важные сведения о технологии получения, технических свойствах и эффективности активных углей, полученных из ископаемых углей месторождений Мьянмы Калейва и Тиджит. Возможно использование разработанных углеродных адсорбентов для фиксации плавающих нефтепродуктов, извлечения из воздуха паров органических растворителей, обработки сточных вод, удаления этилбензола и фенола из воды. Диссертант продемонстрировал умение проводить эксперименты, работать на установках, использовать расчетные методы.

Научные положения и выводы, сформулированные автором, не вызывают сомнений. Результаты диссертационной работы оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью. Большая часть результатов отражена в публикациях и апробирована на профильных конференциях.

Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени доктора наук, установленным Положением о

порядке присуждения ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного приказом ректора № 103ОД от 14 сентября 2023 г., а ее автор – Зо Е Наинг – заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по научной специальности 2.6.7 Технология неорганических веществ.

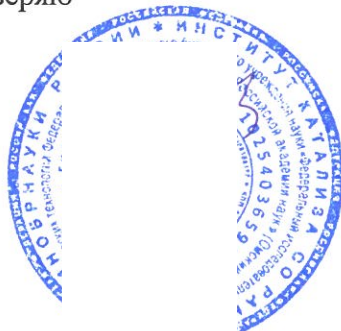
Главный научный сотрудник отдела технологии  
топлива и углеродных материалов  
Центра новых химических технологий  
Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки «Федеральный исследовательский  
центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова  
Сибирского отделения Российской академии  
наук» (Омский филиал), доцент  
доктор биологических наук  
(06.02.03 - Ветеринарная фармакология  
с токсикологией, 03.01.06 - Биотехнология  
(в том числе бионанотехнологии))



Пьянова Лидия Георгиевна  
24.05.2025

Центр новых химических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук» (Омский филиал).  
644040, г. Омск, ул. Нефтезаводская, д. 54.  
Тел.: +7-3812-67-34-36; e-mail: medugli@ihcp.ru

Подпись Пьяновой Л.Г. заверяю  
Ученый секретарь  
ЦНХТ ИК СО РАН, к.х.н.



Сырьева Анна Викторовна