О Т З Ы В

официального оппонента Богдановича Николая Ивановича
на диссертацию и автореферат диссертации **Наинг Линн Сое** на тему
«Переработка отходов древесины железного дерева в активные угли»,
представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.17.07 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ

Диссертационная работа Наинг Линн Сое посвящена научному обоснованию проблемы переработки крупнотоннажных отходов механической обработки древесины пуинкадо (бирманского железного дерева), образующихся на предприятиях республики Союз Мьянма (далее Мьянма), в активные угли и выявлению эффективности использования этих адсорбентов в решении задач очистки от токсичных примесей производственных выбросов и сбросов. В этой связи актуальность поставленных задач и выбранного направления их решения не вызывает сомнений.

Работа, изложенная на 151 странице, структурно представлена в виде введения, четырех глав, выводов и списка литературы.

Во введении работы (6-14 стр.) кратко охарактеризованы ее общая ориентация, актуальность, состояние освоенности предмета, цель и задачи, научная новизна, практичекая значимость, концепция и методы, характер достоверности и апробация результатов исследования, положения, выносимые на защиту.

Глава 1 диссертации – литературный **обзор** (15-35 стр.) включает 6 разделов.

В разделе 1.1 (Древесные ресурсы республики Союз Мьянма) отмечена разнообразность лесов государства, приведена их количественная характеристика, подчеркнуто, что лесное хозяйство обеспечивает более 50 % валового внутреннего продукта (ВВП) страны. Указано, что экспорт древесины из Мьянмы важен для ее экономики, так как составляет около 10 % общего объема экспортных доходов страны. В его составе преобладает экспорт бревен, в гораздо меньшей степени экспорт пиломатериалов и продуктов переработки древесины - фанеры, шпона, бумаги, мебели. В экспорте доминирует ценный бирманский тик, а наряду с ним древесина

железного дерева - пуинкадо (Xylia Dolabrifomis Benth) и многих других видов деревьев.

Лесную политику Мьянмы определяет ряд принципов достижения национальных стратегических целей (эффективное использование древесины и изделий из нее, создание отраслей деревообрабатывающей промышленности, генерирующих минимум отходов и обеспечивающих максимальную производительность, поощрение вовлечения в производство мало используемых видов древесины и экспорта товаров с добавленной стоимостью на внешние рынки, а также адекватное местное производство и снабжение для удовлетворения внутренних потребностей). Эти принципы обусловливают, в частности, необходимость выполнения исследований, ориентированных на разработку технологических основ эффективного вовлечения в материальное производство древесных отходов, образование которых сопровождает лесоповальные и лесосечные работы, а также ансамбль операций разделки стволовой древесины и ее переработки в многочисленные изделия разнообразного назначения. Подчеркнуто, что один из вариантов такой разработки, вероятно, целесообразно ориентировать на производство на указанной основе активных углей, собственными производствами которых страна в настоящее время практически не располагает.

Отмечено, что 70 % населения Мьянмы проживает в сельской местности, где леса удовлетворяют значительную часть его нужд в пищевом, кормовом, бытовом (в том числе топливном) потреблении, обеспечивая охотничьи угодья и целый ряд возможностей получения побочных доходов.

В разделе 1.2 (Основные направления использования отходов механической обработки древесины) подчеркнуто, что в современной деревообрабатывающей промышленности, как российской, так и зарубежной, реализовано значительное число технологических проектов, связанных с утилизацией отходов механической обработки древесины в виде кусковых обрезков, щепы, стружек, опилок, муки и т.п. Кратко охарактеризован ряд таких направлений по производству древесных плит, как материалов строительного назначения, ансамбля химических веществ, как продуктов гидролиза и пиролиза древесных отходов, синтез-газов их газификации, топливных брикетов, для различных целей аграрного сектора. Отмечена относительно низкая степень утилизации древесных отходов по названным направлениям.

Раздел 1.3 (Общие сведения об активных углях) включает понятие этих адсорбентов, сведения об их пористой структуре и удельной поверхности, сырьевой базе и принципах производства, технических характеристиках, практическом значении и номенклатуре.

Раздел 1.4 (Производство активных углей на древесной основе) содержит описания ряда технологий получения активных углей с использованием отходов древесины кедра, тика, бамбука, саксаула и других пород наряду с их техническими характеристиками и эффективностью использования в решении природоохранных задач. На основании рассмотренной информации сделан вывод, что древесина различных пород деревьев и ее отходы могут служить сырьем для получения активных углей с ансамблем технических показателей, величины которых, как и характер поверхности, меняются в достаточно широких пределах.

В разделе 1.5 (Принципы использования активных углей в решении природоохранных задач) приведена краткая общая информация о способах применения углеродных адсорбентов, включая регенерацию, при обработке производственных сточных вод и газовых выбросов.

Раздел 1.6 (Выводы и задачи исследования) содержит логично изложенные заключения из выполненного аналитического обзора доступной научно-технической информации и сформулированные на их основании задачи исследования.

В целом содержание главы 1 свидетельствует о должной ориентации автора в ансамбле изложенной информации.

В главе 2 диссертации (Объекты и методы исследования) на страницах 36-51 в виде нескольких подразделов приведено описание сырья и результатов исследования его характеристик, использованных в работе объектов углеадсорбционной обработки - сточных вод АО «Москокс», производства погонажных полимерных изделий, ряда модельных жидкофазных систем и паровоздушных смесей, содержащих углеводороды. Представлена информация об экспериментальных установках и приемах их эксплуатации, проведенных термографических испытаниях, контакте и разделении фаз при оценке растворимости в воде углеродных материалов и при углеадсорбционной обработке сточных вод. Кратко охарактеризованы аналитические средства и методики (приемы оценки пористой структуры и газохроматографического определения органического углерода в сточных водах, способы анализа сухого и прокаленного остатков, зольности, влажности, насыпной плотности, прочности при истирании), а также

особенности оценки результатов выполненных измерений и их достоверности.

Глава 3 работы (Разработка основ технологии активных углей на базе древесины железного дерева и исследование свойств целевых и побочных продуктов), изложенная на стр. 52-128 и отражающая существо ее экспериментальной части, состоит из 6 разделов.

В первом разделе этой главы (3.1. Исследование сырья и его подготовка) охарактеризованы происхождение отходов древесины пуинкадо и манипуляции их подготовки к исследованиям. Внешний вид отходов представлен фотографиями. Для фрагмента сырья приведены электронные изображения поверхности и спектры ее состава, показатели ряда технических характеристик фракции 3-5 мм древесины и элементного состава ее органической части. Представлены термограммы порошка фракции 200-400 мкм сырья, полученные в атмосферах азота и воздуха, по данным которых оценен целесообразный уровень воздействия на него при пиролизе.

Во втором разделе главы 3 (3.2. Исследование рациональных условий пиролиза сырья) представлены результаты влияния на выход и свойства целевого продукта пиролиза воздушно-сухого сырья его управляющих факторов в интервале интенсивности нагревания – 10-20 °С/мин., конечных температур – 525-700 °С, длительности изотермической выдержки при конечной температуре – 30-180 мин. Качество полученных продуктов оценено совокупностью величин суммарного объема пор ($V_{\Sigma H2O}$), сорбирующих пор (V_s) по парам H_2O, CCl_4 и C_6H_6, поглощения йода (F) и красителя метиленового голубого (МГ). Выполненными экспериментами установлены оптимальные условия пиролиза сырья: интенсивность нагревания 15 °С/мин до 550 °С и длительность выдержки при этой температуре 60 мин, обеспечивающие выход зауглероженного продукта на уровне 28 %. Представлены внешний вид фрагментов воздушно-сухого карбонизата, ряд его технических характеристик, элементный состав органической части, микрофотографии и спектры поверхности. По совокупности полученных данных карбонизат квалифицирован, как зауглероженный материал с величиной внешней удельной поверхности ~43 $м^2/г$, определенным по уравнению Ленгмюра показателем $S_{уд}$, составляющим ~345,8 $м^2/г$, объемом микропор около 0,1 $см^3/г$ и их удельной поверхностью ~302,7 $м^2/г$. Приведен материального баланса процесса пиролиза.

Третий раздел главы 3 (3.3. Исследование рациональных условий активации карбонизата водяным паром) включает аналогичные сырьевым

термограмма воздушно-сухого карбонизата, по данным которых оценен рациональный уровень термического воздействия на него при активации водяным паром. Изучение этого процесса проведено при варьировании его управляющих параметров в пределах: интенсивность нагревания – 10-20 °С/мин., конечная температура – 800-900 °С, длительность изотермической выдержки при конечной температуре – 15-120 мин, удельный расход водяного пара - 3-30 г на 1 г получаемого активного угля. По итогам экспериментов оптимальными условиями активации констатированы интенсивность нагревания 10 °С/мин, удельный расход водяного пара 5 г/г, конечная температура 850 °С и длительность изотермической выдержки при ней 60 мин.

В разделе охарактеризованы фрагменты активного угля с обгаром 59,6 % и выходом по отношению к сырью, близким 12 %, элементный состав его органической части и ряд технических характеристик. Согласно их совокупности полученный адсорбент обладает достаточно высоким качеством по сравнению с дроблеными активными углями российского производства марок БАУ и ДАК на основе древесины березы. Приведены микрофотографии и спектры поверхностн фрагмента полученного активного угля, аналогичные охарактеризованным выше, а также данные о равновесии низкотемпературной адсорбции азота карбонизатом и активным углем и о распределении объема пор этих углеродных материалов по размерам, свидетельствующие о существенном развитии пористой структуры при переходе от карбонизата к активному углю и изменении ее количественных параметров. Охарактеризованы материальный баланс операции активации и данные термографического исследования ее целевого продукта.

Четвертый раздел главы 3 (3.4. Побочные продукты пиролиза древесины пуинкадо и активации его зауглероженного продукта водяным паром) характеризует состав и свойства побочных продуктов обоих термических переделов в виде конденсатов и неконденсируемых газов.

В разделе 5 этой главы (3.5. Практически важные показатели целевых и побочных продуктов термической переработки древесины железного дерева) представлен ряд свойств карбонизата и активного угля (показатели их выщелачивания в воде в виде величин pH, сухих и прокаленных остатков, значений ионообменной способности), отражены аспекты прикладного сопоставительного использования целевых продуктов в решении задач очистки воздуха от паров углеводородов, удаления органических загрязняющих веществ из производственных сточных вод и их моделей.

В разделе 6 главы 3 (3.6. Оценка возможных направлений совершенствования поглотительной способности активных углей на базе древесины железного дерева) отмечены достоинства и недостатки активного угля, полученного паровой активацией, наряду с возможностью модифицирования свойств этого адсорбента путем его импрегнирования доступными и сравнительно дешевыми азотсодержащими модификаторами (мочевиной, тиомочевинной, роданидом аммония), не приводящими к значительному изменению объема сорбирующих пор этих поглотителей при последующей термообработке. Выполненными исследованиями показано, что наиболее эффективные результаты обеспечивает 5 %-ное содержание азота при предпочтительном использовании тиомочевины и термообработка импрегнированного ею активного угля, полученного из древесины железного дерева паровой активацией, в условиях интенсивности нагревания 5 °С/мин до 600 °С с последующей 30-минутной изотермической выдержкой. Эффективность прикладного использования модифицированного таким способом активного угля оценена в сравнении с таковой ряда углей на древесной основе на примерах обработки сточных вод АО «Москокс» и ПК «Киндекор», модельных растворов ионов тяжелых металлов.

В главе 4 диссертации (К технико-экономической оценке разработанной технологии) на стр. 129-135 **приведены** скомпонованная на основании данных выполненного исследования принципиальная аппаратурно-технологическая схема переработки отходов древесины железного дерева на активные угли, описание ее эксплуатации и результаты технико-экономической оценки гипотетического производства 1000 тонн в год активных углей.

За главой 4 на стр. 136-137 следуют в виде 8 позиций выводы по работе, достаточно полно и четко отражающие ее основные итоги.

Завершает текст диссертации представленный на стр. 138-151 список литературы, включающий 114 преимущественно русскоязычных источников.

В работе применительно к отходам древесины пуинкадо впервые обоснованы составляющие ее **научную новизну положения**, включающие обоснованные результатами физического моделирования процессов термической переработки этого сырья (и названные рациональными) закономерности и условия их реализации, позволяющие квалифицировать получаемые целевые продукты, как наиболее активные среди углеродных

адсорбентов на древесной базе, а также особенности реализации с использованием полученных активных углей процессов глубокой очистки производственных сбросов и выбросов, в частности, возможность глубокой очистки воздуха, содержащего низкие концентрации метанола.

Практическую значимость выполненного исследования составляет ансамбль позиций, отражающих принципиальную возможность переработки отходов древесины пуинкадо в активные угли высокого качества, основы технологии их производства, величины выхода и технических характеристик целевых и побочных продуктов ее термических переделов, прикладную эффективность использования полученных адсорбентов в решении задач очистки производственных выбросов и сбросов наряду с ориентировочным технико-экономическим обоснованием разработанной технологии.

В части рекомендаций по использованию результатов диссертационной работы Наинг Линн Сое следует отметить два обстоятельства.

Во-первых, многочисленность задач экологического профиля и среди них, прежде всего, задач глубокой (санитарной) очистки сбросов и выбросов предприятий различной ориентации Мьянмы, практическое отсутствие в этой стране собственных производств активных углей и значительная их стоимость на мировом рынке определяют очевидную ценность результатов выполненного исследования, потенциально обеспечивающую возможный положительный вклад с их использованием в национальную экономику государства.

Во-вторых, не вызывает сомнений и значимый вклад полученных в работе результатов в область **теоретических и практических знаний** о технологии углеродных адсорбентов, что может быть востребовано заинтересованным кругом исследователей, проектировщиков и других специалистов, занятых проблемами, связанными с активными углями и древесными отходами.

Существо работы вызывает ряд замечаний:

• Представляется мало целесообразным весьма детальное описание представленных в работе результатов термографических исследований использованных отходов и целевых продуктов их переработки, в основном преследующее цель выявления лишь ориентировочного значения нижней границы температурного воздействия на сырье и продукт его пиролиза.

• В главах 1 и 4 диссертации отсутствует детальное описание реализации технологии активного угля БАУ, сопоставление которой с предложенной в

анализируемой работе, как представляется, позволило бы выявить дополнительную важную для выполненного исследования информацию.

• В работе не вскрыты причины наличия анионообменной емкости у активного угля паровой активации и, напротив, отсутствия у него катионообменной способности.

• Расхождение величин однотипных параметров в ряде таблиц главы 3 диссертации, содержащих экспериментальные данные, заметно превышает интервал точности, указанный в подразделе «Характер достоверности результатов исследования» ее раздела «Введение».

• Текст диссертации не свободен от ряда упущений и довольно многочисленных оплошностей в основном орфографического плана.

Однако, отмеченные недостатки существенно не умаляют общей ценности изложенного в диссертации Наинг Линн Сое целенаправленного, объемного, трудоемкого и значимого исследования, выполненного на современном научно-техническом уровне. Тексты диссертации и ее автореферата вполне ясно изложены и достаточно хорошо оформлены графически. Изложенный материал в целом сжат, конкретен, изложен логически направлено, заключен квалифицированно сформулированными выводами, что указывает на достаточно высокий уровень научной компетенции автора диссертации в характеризуемом круге знаний.

Автореферат диссертации и публикации, выполненные по ее теме, достаточно полно отражают существо рассмотренного исследования.

Диссертация Наинг Линн Сое на тему «Переработка отходов древесины железного дерева в активные угли» соответствует паспорту специальности 05.17.07 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ, формуле этой специальности и областям исследований по позициям 8, 9 и 11, а также требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям. Она представляет собой законченную, самостоятельно выполненную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задачи эффективной утилизации отходов механической обработки древесины пуинкадо – бирманского железного дерева, образующихся на предприятиях республики Союз Мьянма, путем их переработки с получением зерненых активных углей.

Автор работы – Наинг Линн Сое достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.07 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Официальный оппонент,
профессор кафедры целлюлозно-
бумажных и лесохимических производств
Северного (Арктического) федерального
университета имени М.В. Ломоносова,
д.т.н., профессор _____ (Богданович Н.И.)
«30» апреля 2019 г.

Богданович Николай Иванович
Специальность ученой степени (шифр):
11.00.11 – охрана окружающей среды и
рациональное использование
природных ресурсов
05.21.03 – технология и оборудование
химической переработки древесины;
химия древесины
Адрес:163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17, САФУ
Телефон: (8182) 21-89-46
E-mail: n.bogdanovich@narfu.ru

Личную подпись Богдановича Н.И.
заверяю: ученый секретарь ученого совета САФУ
Е.Б. Раменская
30 апреля 2019 г.