

ОТЗЫВ

официального оппонента Нурмухаметова Дениса Рамильевича
на диссертацию **Логинова Дмитрия Александровича**
на тему «Комбинированное производство тепловой энергии и углеродной продукции из энергетических углей» по специальности 05.14.04 – промышленная теплоэнергетика
на соискание ученой степени доктора технических наук

Диссертационное исследование Логинова Д.А. выполнено с учетом положений Энергетической стратегии России до 2035 года, Программы развития угольной промышленности России на период до 2035 года, которые регламентируют необходимость разработки и внедрения принципиально новых энерготехнологических процессов использования углей, обеспечивающих высокий уровень экологической безопасности и экономической эффективности. Положения Парижского соглашения по климату также требуют от России разработки и внедрения экологически чистых технологий использования широкомасштабного применения угля с пониженным уровнем выбросов углекислых газов. Повсеместное внедрение таких технологий позволит вывести малую энергетику страны на качественно новый уровень экологически безопасного функционирования, придаст импульс развитию смежных отраслей промышленности Российской Федерации. Таким образом, **актуальность** исследований, приведенных в диссертации, не вызывает сомнений.

Основная идея диссертационного исследования заключается в разработке экологически безопасных процессов энерготехнологической переработки угля низкой степени метаморфизма в углеродные продукты и энергоноситель. При этом из угля производятся два компонента: тепловая энергия, и коксовый остаток – среднетемпературный кокс, который является ценным сырьем широкого спектра использования.

Наиболее значимыми результатами диссертации являются результаты экспериментальных исследований процесса комбинированного получения тепловой энергии и углеродсодержащих продуктов в реакторе с кипящим слоем и усовершенствованную на их основе автотермическую технологию «ТЕРМОКОКС-КС» комбинированного производства тепловой энергии, термококса и сорбентов в реакторе с кипящим слоем; результаты экспериментальных исследований процесса получения горючего газа и металлургического восстановителя из бурых и каменных энергетических углей при повышенном давлении; а также автотермическую технологию получения

энергоносителей в стационарном слое с разнонаправленным дутьем. Все полученные экспериментальные данные могут быть использованы для дальнейшего изучения вопросов глубокой переработки угля, разработки математических моделей процессов частичной газификации угля с целью их совершенствования. Результаты исследований носят ярко выраженную практическую направленность, что подтверждено актами внедрения разработанных технологических процессов в производственную деятельность крупных промышленных предприятий региона. Сформулированные научные положения диссертационного исследования обоснованы, в тексте диссертации и автореферата приведены результаты, подтверждающие сделанные автором заключения. Цель исследования, заключающаяся в теоретическом обосновании и экспериментальной разработке энерготехнологических процессов переработки угля в углеродсодержащие продукты с высокой добавленной стоимостью и тепловую энергию достигнута полностью.

Новыми научными результатами, полученными автором, являются:

1. Разработанные научные основы, обеспечивающие интенсификацию и повышение экономической эффективности энерготехнологического процесса автотермической переработки угля в кипящем слое с комбинированным производством энергоносителей за счет изменения влажности и гранулометрического состава используемого угля.
2. Разработанные и запатентованные на основе результатов экспериментальных исследований новые энерготехнологические процессы комбинированного производства тепловой энергии и сорбентов различного назначения.
3. Установленные зависимость качественных показателей углеродсодержащих продуктов от давления в диапазоне 0,0-4,0 МПа при термической переработке энергетических углей. На основе полученных результатов разработан новый технологический процесс комбинированного получения тепловой энергии и высококалорийного карбонизата при повышенном давлении.
4. Выполненные углубленные исследования процесса «ТЕРМОКОКС-С» в диапазоне температур 900-1100 °С, а также процесса пиролиза угля в прямой тепловой волне при частичном сжигании генераторного газа.
5. Разработанный на основе полученных результатов новый энерготехнологический процесс комбинированного получения тепловой энергии и карбонизата в двухзонном реакторе с разнонаправленным дутьем.

Достоверность полученных результатов подтверждается результатами исследований в промышленных условиях. Выводы достаточно хорошо коррелируют с результатами, полученными другими исследователями и не противоречат физическим закономерностям в смежных областях знаний.

Анализ содержания диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 6 разделов, заключения, списка литературы и 10 приложений. Работа содержит 424 страницы машинописного текста, в том числе 296 страниц основного текста диссертации и 128 страниц приложений, 141 рисунок и 58 таблиц. Список литературы включает 156 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель задачи исследования, изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе выполнен обзор теории и практики существующих технологических процессов термической переработки угля, проведен сравнительный анализ их преимуществ и недостатков и определены области их практического применения.

Второй раздел посвящен совершенствованию процесса энерготехнологической переработки угля «ТЕРМОКОКС-КС». Приведены результаты экспериментальных исследований процессов тепло- и массопереноса при пиролизе частиц угля с различной исходной влажностью, на основании которых сделан вывод о том, что предварительное снижение влаги перед подачей угля в кипящий слой позволит интенсифицировать процесс термообработки и увеличить производительность технологического процесса. Приведенные результаты дальнейших экспериментальных исследований подтвердили это предположение. Подсушивание угля позволило также реализовать стабильный процесс термической переработки угля в кипящем слое при пониженных температурах, необходимый при получении бурого угольного полукокса. Показано снижение удельной эмиссии углекислого газа и загрязняющих веществ в атмосферу при предварительном подсушивании угля в технологии «ТЕРМОКОКС-КС» с существенным ростом производительности по углеродистому продукту.

Третий раздел посвящен разработке автотермической технологии производства углеродных сорбентов различного назначения и тепловой энергии из бурого угля. Исследования были проведены на специально сконструированном экспериментальном стенде в широком диапазоне изменения режимных параметров. Показано, что путем изменения режимных параметров из бурого угля возможно получать сорбенты для

современных технологий переработки нефти и очистки сточных и производственных вод. При этом ввиду довольно высокой стоимости углеродных сорбентов при отнесении всех затрат на его себестоимость производимая одновременно тепловая энергия может иметь условно нулевую стоимость. Выбросы вредных веществ при производстве сорбента ниже, чем при полном сжигании угля, что подтверждает экологическую безопасность технологии.

Четвертый раздел посвящён разработке технологического процесса термической переработки энергетического угля под давлением. Примечательны приведенные результаты в части снижения пористости получаемого полукокса с возрастанием давления процесса. Повышенное давление эндогенного газа позволяет получить низкопористый и прочный полукокс даже из бурого угля, который в других технологических процессах полукоксования в результате нагрева разрушается. Все лабораторные результаты подтверждены в результате экспериментальных исследований на специальном стендовом реакторе, являющимся прототипом промышленной установки.

В пятом разделе разработан энерготехнологический процесс комбинированного получения карбонизата и тепловой энергии в плотном слое угля с разнонаправленным дутьем. Единственным управляющим параметром такого процесса является расход воздуха. Исследован высокотемпературный интервал среднетемпературного коксования каменного угля в процессе с обращенным дутьем, рассчитаны параметры частичного сжигания получаемого в этом процессе генераторного газа, и исследован процесс пиролиза угля образующейся смесью дымовых газов и генераторного газа. Экспериментально подтверждена возможность реализации процесса, определены необходимые параметры первичного и вторичного дутья для достижения в каждой из зон реактора необходимой температуры. Приведены характеристики получаемых энергоносителей: высокотемпературного каменноугольного кокса и горючего газа. Показано, что удельная эмиссия углекислого газа в этом процессе более чем на 20% ниже, чем сжигании каменного угля той же марки, а приведенные протоколы инструментальных замеров выбросов загрязняющих веществ свидетельствуют о высокой экологической безопасности этой технологии.

В шестом разделе представлены итоги внедрения разработанных технологических процессов, показатели эксплуатации промышленных агрегатов, определены направления использования получаемой продукции, а также перспективы расширения сфер её применения.

В пятом разделе обобщены результаты опытно-промышленной апробации технологии на базе модернизированного котельного агрегата для комбинированного получения тепловой энергии и бурогоугольного кокса. Сформулированы практические рекомендации по использованию новой технологии в промышленном масштабе.

В заключении сформулированы основные результаты работы. Основные выводы и результаты работы не вызывают сомнений.

Замечания:

1. Автором в первой главе достаточно подробно произведен анализ теории и практики существующих технологических процессов термической переработки угля. Однако в работе не упомянуты результаты работ, проводимых в Институте катализа СО РАН им. Г. К. Борескова в течение последних 40 лет по каталитическому сжиганию топлив в кипящем слое для получения тепла. В частности в начале 1980-х годов в Институте катализа академиком Г. К. Боресковым с учениками была предложена новая концепция сжигания жидких, газообразных и твердых топлив в кипящем слое катализатора (см., например, Боресков Г. К., Левицкий Э. А., Исмагилов З. Р. Сжигание топлив и каталитические генераторы тепла // Журн. физ.-хим. о-ва. 1984. Т. 29. С. 389–398). Сжигание и карбонизация Канско-Ачинских углей активно изучалось Красноярскими учеными под руководством проф. Б.Н. Кузнецова [Kuznetsov B.N., Shchipko M.L., Azhichev N.A. et al. Thermal conversion of lignite in fluidized bed of catalyst // Fuel. 1987. V.66. P. 412-414., Shchipko M.L., Kuznetsov B.N. Catalytic pyrolysis of Kansk-Achinsk lignite for production of porous carbon materials // Fuel. 1995. V.75. P. 751-755]. Было бы желательно привести обзор данных работ.

2. При интерпретации экспериментальных данных часто используется аппроксимации линейной, квадратичной (рис. 64, 68, 70, 71, 82, 83, 112) и даже кубической (рис. 104, 105) зависимостями, и приводятся соответствующие уравнения с коэффициентами корреляции. С точки зрения рецензента указание уравнений аппроксимации и коэффициентов корреляции квадратичной и кубическими зависимостями не имеет физического смысла. Кубические зависимости можно трактовать как «кривая с максимумом». Рис. 82 и 83 странные: 1 – приведенные на рисунках уравнения аппроксимации не соответствуют экспериментальным точкам; 2 – ось абсцисс указана неверно, наблюдается использование изменяемой цены деления (1, 2 и потом сразу 4). Эти обстоятельства могут указывать на не достоверность. Первый пункт касается также рис.

70 и 71. Данные рис. 64 вполне можно аппроксимировать линейной, а не квадратичной зависимостью.

3. Раздел 5.2.3. На рис. 112 представлена зависимость удельной теплоты сгорания горючего газа от расхода вторичного воздуха. Вид данной зависимости можно охарактеризовать как не монотонную – имеется минимум при 82 ед. С другой стороны на рис. 108 представлена зависимость производительности процесса от удельного расхода вторичного воздуха и наблюдается аналогичная ситуация, но имеется максимум при таком же значении расхода. Однако данные представленные на рис. 107, 109, 110, 111, 113 имеют более простой вид – практически линейные зависимости без «особых» точек. Автор не анализирует в работе такое поведение экспериментальных зависимостей.

Имеется опечатки: на рис. 107, 109, 110, 112, 113 удельный расход вторичного воздуха выражен в $[м^3/(м^2*ч)]$, но в тексте и в остальных рисунках расход выражен в $[мм^3/(м^2*ч)]$.

4. В работе автор не приводит способ отбора проб газа на анализ. Как проводилась калибровка? Состав газа регистрируется в абсолютных или относительных единицах?

5. В заключении автор отмечает, что вопрос влияния влажности угля на сорбционные свойства углеродистых материалов, получаемых в кипящем слое, в данной работе не рассматривается. На самом деле вопрос очень важный и рекомендуется автору в своей дальнейшей научной работе обратить этому вопросу особое внимание.

Сделанные замечания не снижают высокой оценки диссертации. Основное содержание диссертационного исследования опубликовано в одиннадцати статьях в журналах, рекомендованных ВАК РФ для публикации материалов докторских диссертаций, шести работах в изданиях, индексируемых в международной реферативной базе данных Scopus, имеется девять патентов на изобретения. Материалы диссертации достаточно хорошо апробированы на различных научных конференциях. Автореферат соответствует рукописи диссертации.

Диссертация Логинова Дмитрия Александровича соответствует специальности 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика, имеет внутреннее единство и является завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические, технологические или решения в области энерготехнологического применения угля, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

Диссертация соответствует требованиям п.9 "Положения о присуждении учёных степеней" постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а её автор **Логинов Дмитрий Александрович** достоин присуждения учёной степени доктора технических наук.

Ведущий научный сотрудник Лаборатории энергетических соединений и нанокompозитов Института углекислого и химического материаловедения, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр угля и углекислого Сибирского отделения Российской академии наук»

д-р физ.-мат. наук



Нурмухаметов Денис Рамильевич

10.08.2022

Почтовый адрес: 650000, Россия, г. Кемерово, пр. Советский, 18

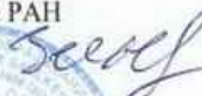
телефон: +7(3842) 36-69-04

эл. адрес: centr@coal.sbras.ru

Подпись Нурмухаметова Д.Р. заверяю:

Заместитель директора ФИЦ УУХ СО РАН

по научно-административной работе



Зиновьев Василий Валентинович