

ОТЗЫВ

официального оппонента Богомолова Александра Романовича

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

В соответствии Энергетической стратегии РФ до 2035 года в экономике Российской Федерации топливно-энергетический комплекс занимает существенное место и играет роль базовой инфраструктуры. Развитие энергетики Российской Федерации направлено на максимальное содействие социально-экономическому развитию страны, укрепление и сохранение позиций Российской Федерации в мировой энергетике, как минимум, на период до 2035 года.

При этом топливно-энергетический комплекс должен внести до 2024 года свой вклад и способствовать другим секторам экономики в достижении национальных целей и решении стратегических задач развития Российской Федерации, определенных Указом Президента Российской Федерации № 204.

При постановке задач и в прогнозных расчетах Энергетической стратегии РФ до 2035 года учитывалось возможное влияние на развитие энергетики реализации Стратегии научно-технологического развития, а также широкого круга прорывных и приоритетных технологий, рассмотренных в Прогнозе научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 года, утвержденном 14 октября 2016 г. Министром энергетики Российской Федерации А.В. Новаком, который составляет со Стратегией единое целое.

Для достижения поставленной цели в условиях прогнозируемых изменений мировой экономики и экономики Российской Федерации потребуются ускоренный переход (модернизационный рывок) к более эффективной, гибкой и устойчивой энергетике, способной адекватно ответить на вызовы и угрозы в своей сфере и преодолеть имеющиеся проблемы. Характеристики указанного рывка включают наиболее важные темы: 1) уменьшение негативного воздействия отраслей топливно-энергетического комплекса на окружающую среду и адаптацию их к изменениям климата; 2) переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике; 3) рациональное природопользование и энергетическая эффективность.

Наряду с общими для топливно-энергетического комплекса проблемами, отраслевой проблемой и фактором риска в угольной отрасли является снижение внутреннего спроса и конкуренция угольного топлива с природным газом.

В связи с этим, **актуальность** темы диссертации определяется основополагающими программами Российской Федерации в области развития энергетики и угольной промышленности, которые регламентируют необходимость разработки и внедрения принципиально новых энерготехнологических процессов использования углей, обеспечивающих высокий уровень экологической безопасности и экономической эффективности.

Основная идея диссертационного исследования заключается в определении требований к созданию эффективных современных процессов и аппаратов термической переработки твердых топлив и в разработке новых экологически безопасных процессов энерготехнологической переработки угля низкой степени метаморфизма в углеродные продукты и энергоноситель. При этом из горючей массы угля производятся горючий газ, используемый для производства тепловой энергии, и коксовый остаток – среднетемпературный кокс, который является высоко маржинальным и ценным продуктом широкого спектра использования.

Наиболее значимыми результатами диссертации следует признать:

1. Результаты экспериментальных исследований энерготехнологического процесса комбинированного получения тепловой энергии и углеродсодержащих продуктов в реакторе с кипящим слоем **и усовершенствованную** на их основе автотермическую **технологии** «ТЕРМОКОКС-КС» комбинированного производства тепловой энергии, термококса и сорбентов в модифицированных котельных агрегатах, отличающуюся повышенной производительностью по твердому продукту, **а также результаты ее промышленного освоения.**

2. Результаты экспериментальных исследований **процесса получения горючего газа и металлургического восстановителя** из энергетических углей при повышенном давлении.

3. Автотермическая технология получения энергоносителей в реакторе со стационарным слоем с подачей окислителя **в разноместных точках вертикального реактора.** Все полученные экспериментальные данные могут быть использованы для дальнейшего изучения глубокой переработки угля, разработки математических моделей процессов частичной газификации угля с целью их совершенствования.

4. Внедрение разработанных технологических процессов в производство промышленных предприятий в различных регионах страны.

Новые научные результаты, полученные автором:

1. Разработаны научные основы, направленные на интенсификацию и повышение экономической эффективности энерготехнологического процесса автотермической переработки угля в кипящем слое с комбинированным производством энергоносителей в условиях изменения влажности и гранулометрического состава угля.
2. Предложены и запатентованы энерготехнологические процессы комбинированного производства тепловой энергии и сорбентов различного назначения.
3. Установлена закономерность получения качественного углеродсодержащего продукта от давления в процессе термической переработки энергетических углей при повышенном давлении и разработан новый технологический процесс комбинированного получения тепловой энергии и высококалорийного карбонизата при этих условиях.
4. Разработан новый энерготехнологический процесс комбинированного получения тепловой энергии и карбонизата в вертикальном двухзонном реакторе с подачей окислителя **в разноместных его точках.**

Достоверность полученных результатов гарантирована использованием апробированных методик исследований, применением поверенных и калиброванных средств измерений, подтверждением согласования полученных экспериментальных данных и промышленных испытаний изучаемых процессов. Полученные данные сравнимы с результатами исследований других авторов.

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 для функционирования энергетической отрасли России на принципах экологической и энергетической безопасности страны, ресурсосбережения при совершенствовании существующих

производств, разработке и внедрения инновационных низкоэмиссионных процессов энерготехнологической переработки угля с целью производства высококалорийного топлива, высокореакционных углеродистых восстановителей для металлургии, углеродных сорбентов и бездымного бытового топлива. Сформулированы объект и предмет, цель и задачи исследования. Изложены научная новизна, методология и методы исследования и основные положения, выносимые на защиту. Отражены теоретическая и практическая значимость при использовании результатов работы.

В первом разделе выполнен обзор существующих технологических процессов термической переработки угля, освещены проблемы развития твердотопливной энергетики и угледобывающей промышленности. Проведен обзор и анализ по современным направлениям процессов термической переработки угля: в плотном и кипящем слое с полной и частичной газификацией; переработка при атмосферном и повышенном давлении. Представлен анализ рынка углеродсодержащих продуктов: коксовая продукция и специальные виды твердого топлива. Обзор коснулся и новым металлургическим технологиям. Проведен сравнительный анализ достоинств и недостатков термической переработки угля, определены сферы применения углеродной продукции.

Второй раздел посвящен совершенствованию процесса энерготехнологической переработки угля «ТЕРМОКОКС-КС». Проведен анализ эксплуатационных показателей котлоагрегата, модифицированного в энерготехнологическую установку, экспериментальных исследований влияния крупности угля на показатели технологического процесса. 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. Подсушивание угля позволило также реализовать стабильный процесс термической переработки угля в кипящем слое при пониженных температурах, необходимый при получении буроугольного полукокса. Показано снижение удельной эмиссии углекислого газа и загрязняющих веществ в атмосферу при использовании подсушенного угля технологии «ТЕРМОКОКС-КС» с существенным ростом производительности по углеродистому продукту. Рассмотрено комбинированное производство тепловой энергии и буроугольного полукокса в кипящем слое.

Третий раздел посвящен рассмотрению и разработке комбинированного производства тепловой энергии и углеродного сорбента в модифицированном

котлоагрегате по автотермической технологии из бурого угля. Проведены экспериментальные исследования влияния управляющих (параметрических и режимных) параметров на характеристики процесса производства сорбента в кипящем слое. 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. Рассмотрена технология получения сорбента с высокой адсорбционной активностью.

Четвертый раздел посвящён разработке технологического процесса термической переработки энергетического угля под давлением. Повышенное давление эндогенного газа позволяет получить низкопористый и прочный кусковой полукокс из бурого угля, который в иных технологических процессах полукоксования подвергается разрушению. Результаты подтверждены проведением 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 заключении сформулированы основные результаты работы. Основные выводы и результаты работы не вызывают сомнений.

Замечания, имеющие дискуссионный характер

1. На с. 6 Рукописи диссертации отмечено, что Государственной программой РФ «Развитие энергетики» предусматривается повышение глубины переработки нефтяного сырья. Заявлено, что это *неизбежно влечет за собой увеличение объема отходов процесса нефтепереработки*, в том числе гудрона. Например, на сайте <https://neftok.ru/pererabotka/glubina-pererabotki-nefti.html>, глубина переработки нефти (ГПН) является одним из важнейших показателей эффективности нефтеперерабатывающего предприятия. Статистические данные свидетельствуют, что глубина переработки нефти в нашей стране в среднем находится на уровне 74%, в европейских странах – на уровне 85%, в США – 95-96%. **На чем основано Ваше утверждение о том, что повышение глубины переработки нефти влечет за собой увеличение объемов отходов?**

2. Поясните фразу на с. 67: «В промышленных условиях удаление из потока угля мелочи менее 5 мм представляется затруднительным, поэтому в дальнейших испытаниях применялся уголь крупностью 5–15 мм».

3. На с. 69 утверждается «При использовании угля класса крупности 0–15 мм выход кокса составлял 20 кг/ГДж, а на угле крупностью 5–15 мм уже 23,8 кг/ГДж (рисунок 22). То есть удельная производительность возросла на 20%». Из каких соображений выход полукокса отнесен на единицу тепловой энергии? Эта величина не постоянная, зависящая от многих факторов ведения процесса.

4. Объясните особенности процесса нагрева поверхности образца влажного угля (от 5 до 33%) по данным параграфа 2.3, когда ее температура при окружающей среды от 600 до 800°C достигает этого значения не менее чем через 20 минут, а при температуре окружающей среды 900°C – около 4-5 минут? В автореферате на с. 13 отмечено: «В проведенных экспериментах температура поверхности (0 мм) практически сразу достигает температуры греющей среды $T_{\text{печи}}$ (рисунок 3). Как видно из приведенных данных, снижение влаги угля с 33% до 10% приводит к уменьшению времени прогрева в 1,6 раза».

5. Объясните наличие минимума температуры окружающей среды (рисунки 25-30) в момент времени примерно около 2 минут при ее температурах в пределах 600-800°C и отсутствие его при температуре 900°C.

6. О чем свидетельствует «горизонтальность или постоянство температур» (рисунки 25, 28, 31) в исследуемом образце угля с различной влажностью на расстоянии от стенки 7,5 и 15 мм?

7. Поясните фразу на с. 83 (ссылка на рисунки 37-40): «относительная масса частиц угля изменяется практически линейно с течением времени. Скорость изменения массы не зависит от показателя общей влаги, но сильно зависит от температуры нагрева». Что означает показатель общей влаги? Представленные графики не показывают скорости изменения массы (сушки) угля от влажности исходного угля. Рекомендуется автору при ответе представить кривые скорости сушки образцов при различных температурах среды для подтверждения сформулированного вывода.

8. Поясните, почему зависимости зольности термококса от температуры кипящего слоя при влажности 25% и 15% имеют в трендовой линии одинаковый коэффициент, отличающийся по углу наклона при влажности 33 и 6% (рисунок 41)?

9. Объясните, в результате чего (рисунок 44) получена наибольшая тепловая энергия на единицу произведенного термококса при влажности угля 33%?

10. Почему представлены данные и дано объяснение факту повышения эмиссии углекислого газа с увеличением влажности угля, поступающего на газификацию от выработки тепловой энергии (рисунок 48), которая является переменной величиной (рисунок 44)?

Сделанные замечания не снижают в целом высокой оценки диссертации, основное содержание которой опубликовано в печати. Имеется одиннадцать статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ для публикации материалов докторских диссертаций, шесть работ в изданиях, индексируемых в международной реферативной базе данных Scopus и девять патентов на изобретения. Материалы диссертации достаточно хорошо апробированы на различных научных конференциях.

Автореферат соответствует рукописи диссертации.

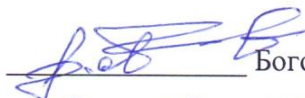
Диссертация Логинова Дмитрия Александровича соответствует специальности 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика, имеет внутреннее единство и является завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические, технологические, а также решения в области энерготехнологической переработки угля в

углеродную продукцию и тепловую энергию, внедрение которых вносит существенный 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** заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук.

Официальный оппонент,
доктор технических наук,
(специальность 01.04.14 - «Теплофизика и теоретическая теплотехника»),
Заведующий кафедрой теплоэнергетики Института энергетики
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово

Я, Богомолов Александр Романович, согласен на автоматизированную обработку персональных данных, приведенных в настоящем документе


Богомолов Александр Романович
« 22 » 08 2022г.

Подпись Богомолова Александра Романовича заверяю
Ученый секретарь
ФГБОУ ВО Кузбасский государственный технический
университет имени Т.Ф. Горбачева

Э. В. Хейминок


подпись
22.08.2022
печать

ФГБОУ ВО Кузбасский государственный технический
университет имени Т.Ф. Горбачева

650000, Кемерово, ул. Весенняя, д.28

Тел. +7(3842) 68-23-14

E-mail: rector@kuzstu.ru Web: <https://www.kuzstu.ru>