

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Абаимова Николая Анатольевича «Интенсификация термохимических процессов поточной воздушной газификации угля применительно к энергетике», выполненную по специальности «01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника» на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Технологии газификации углей получают новые импульсы развития в последние годы в связи с усложняющейся экологической обстановкой в районе угольных тепловых электрических станций и котельных во всем мире, особенно в Китае, Индии, России, США и ряде других государств. Перспективы снижения объемов использования угля, декларируемые в оптимистичных экологических прогностических проектах развития мировой энергетики, вызывают активные дискуссии и сомнения в их реалистичности. В ближайшие годы одним из направлений решения экологических проблем на угольных ТЭС и котельных является их перевод на водоугольные и органоводоугольные композиции или синтез-газ, получаемый при газификации углей. К сожалению, КПД известных установок по газификации твердых топлив пока невысоки. В связи с этим тема диссертации Н.А. Абаимова, в которой содержатся результаты исследований способов интенсификации термохимических процессов поточной воздушной газификации угля для ПГУ-ВЦГ с целью повышения химического КПД газификатора и отношения  $H_2/CO$  в синтез-газе, **актуальна и перспективна**. Она соответствует приоритетному направлению развития науки в Российской Федерации (Указ Президента России от 07.07.2011 № 899): **«Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика»** и находится в сфере критической технологии федерального уровня, получившей высокий рейтинг по перспективам развития: **«Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии»**.

Диссертация Н.А. Абаимова **состоит из введения, пяти глав и заключения.** Полный объём диссертации составляет 194 страницы с 59 рисунками и 24 таблицами. Список литературы содержит 231 наименование. **Содержание автореферата диссертации соответствует содержанию рукописи.**

**Во введении** автор формулирует проблему, степень ее проработанности мировым научным сообществом, цели и задачи исследований, научную новизну работы, теоретическую и практическую значимость полученных результатов, методологию и методы исследования, положения, выносимые на защиту, а также степень достоверности и апробации результатов.

**В первой главе** проведен сравнительный анализ известных результатов исследований особенностей термохимических процессов, протекающих при поточной газификации угля. Рассмотрены детали хорошо известных ранних публикаций по конверсии твёрдого топлива. Выделены перспективные способы интенсификации термохимических процессов, протекающих при поточной газификации угля: нагрев реагентов, повышение давления, подача водяного пара, механоактивация угля, многоуровневый подвод реагентов.

**Во второй главе** диссертации приведено описание конструкций и принципов работы экспериментальных установок, а также полученных на них экспериментальных данных. Выбраны три экспериментальные установки, которые располагаются в ЦКТИ (г. Санкт-Петербург) и ИТ СО РАН (г. Новосибирск). Рассмотрены их ключевые особенности, характеристики и ограничения.

**В третьей главе** приведено описание используемой нульмерной термодинамической модели и адаптированной CFD-модели. Обсуждены детали расчетов, принимаемые допущения, учитываемые процессы, факторы и эффекты.

**В четвертой главе** диссертации приведён сравнительный анализ полученных экспериментальных данных с помощью нульмерной термодинамической модели, а также адаптированной в рамках диссертационных изысканий и верифицированной за счет сравнения с экспериментальными данными CFD-модели.

**В пятой главе** диссертации представлены результаты выполненной оценки эффективности способов интенсификации термохимических процессов в промышленном газификаторе с помощью многовариантного CFD-моделирования работы двухступенчатого воздушного поточного газификатора МНІ.

**В заключении** приведены основные выводы диссертационной работы с краткой характеристикой полученных теоретических и экспериментальных результатов выполненных исследований.

Из анализа содержания рукописи диссертации можно заключить, что **научная новизна** рецензируемой диссертации Н.А. Абаимова заключается в следующем:

1. Адаптирована и верифицирована по литературным и полученным с участием диссертанта экспериментальным данным CFD-модель поточной газификации, включающая в себя расчетные модули, необходимые для исследования способов интенсификации термохимических процессов, происходящих при воздушной поточной газификации угля.
2. Получены экспериментальные данные по влиянию способов интенсификации термохимических процессов воздушной поточной газификации угля на теплоту сгорания синтез-газа и отношение  $H_2/CO$  в нём.
3. Исследована эффективность применения способов интенсификации термохимических процессов воздушной поточной газификации угля, происходящей в промышленном газификаторе с использованием адаптированной CFD-модели. Определена чувствительность теплоты сгорания синтез-газа и отношения  $H_2/CO$  в нём к способам

интенсификации термохимических процессов воздушной поточной газификации угля.

**Практическая направленность** диссертации Н.А. Абаимова заключается в том, что полученные значения чувствительностей основных параметров работы промышленного газификатора к способам интенсификации термохимических процессов можно использовать при модернизации конструкции или режима работы газификаторов твёрдого топлива. Результаты исследований используются на кафедре ТЭС УрФУ в дисциплинах «Математическое моделирование», «Горение и газификация», «Высокие наукоёмкие технологии в теплоэнергетике и теплотехнике» и др., а также послужили основой для успешного выполнения научных исследований в рамках группы грантов РФФИ, РНФ, проектов ФЦП и др, указанных в диссертации и автореферате.

**Достоверность** полученных автором диссертации результатов основана на удовлетворительном их согласии с известными теоретическими и экспериментальными данными других авторов, анализе погрешностей приборов и средств измерений, непротиворечивости физике протекающих процессов, а также проведении совместных экспериментальных и теоретических исследований для оценки адекватности модели и уточнения результатов опытов.

Анализ содержания рукописи и автореферата диссертации дает основание для формулирования нескольких **замечаний и рекомендаций**:

1. При анализе результатов исследований мирового научного сообщества используются групповые ссылки, которые могут превышать даже 10 источников при одном упоминании. При таком подходе размывается конкретика описываемых факторов и эффектов. Следует более конкретно ссылаться на ранние работы и иллюстрировать отличия с объяснением возможных причин.
2. Сформулированные на 29 стр. задачи исследований выглядят вполне логичными и без проведения анализа содержания первой главы.

Целесообразно более конкретно выделить физические процессы, факторы и эффекты, которые выделяют данную диссертацию от других. Это бы усилило позиции работы на этапе постановки задач. В разделах диссертации с основными результатами эти процессы, факторы и эффекты обсуждаются.

3. В тексте диссертации и автореферата используется довольно странный оборот «подобраны три экспериментальные установки». Если речь идет о выборе стендов для проведения исследований, то как таковой выбор не раскрыт. Из каких установок выбирались, какие критерии, сравнительный анализ? Если подбирали под какие-то условия или задачи, то требовалось привести пояснения.
4. Качество, формат и масштабы обозначений на рисунках в диссертации существенно разнятся. Следовало выдержать общий стиль и формат.
5. В разделе с экспериментальными данными не раскрыты детали измерений, характеристик сенсоров, их систематических и случайных погрешностей, а также инерционности и влияющих на качество измерений эффектов и факторов. Эти вопросы очень важны, так как анализ выполняется для трех установок с существенно отличающейся материальной базой.
6. Описание модели и расчетных блоков очень поверхностное. Это связано с таким подходом в целом при применении CFD-моделирования. Много деталей в области фазовых превращений, пиролиза, зажигания и других физико-химических процессов не раскрывается. В таких условиях удовлетворительное согласие с экспериментальными данными можно получить лишь при активном использовании эмпирических констант, функций и выражений. Это накладывает ограничения на общность подхода и результатов исследований. Целесообразно было данные детали раскрыть и предложить механизмы минимизации их влияния на результаты исследований.
7. В табл. 3.1 и 3.2 приведены значения энергии активации и предэкспоненциального множителя, которые соответствуют определенному диапазону температур. Необходимо было обсудить эти

условия. К тому же, скорости реакций определяются не только термокинетическими константами, но и концентрациями компонентов, которые сильно зависят от свойств топлив.

8. В «подмодели движения и теплообмена угольных частиц» не учитывается влияние сил Сэффмена, Магнуса, термофореза и турбофореза, которые могут значительно изменять условия и характеристики перемещения частиц в топочных камерах. Целесообразно привести обоснования правомерности использования ограниченной группы факторов и сил.
9. В диссертации приводятся поля температуры, концентрации, скоростей движения, которые в черно-белом формате мало информативны. Следовало либо использовать изолинии для иллюстрации значений исследованных параметров, либо дополнительно нанести значения этих параметров в наиболее важных зонах топочной камеры. В тексте диссертации такие зоны обсуждаются, но понять значения рассчитанных параметров в них с использованием приведенных полей сложно.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Н.А. Абаимова. Их можно расценивать в качестве рекомендаций. Диссертантом выполнена важная и кропотливая работа. Вследствие большого объема рукописи некоторые детали были упущены, по ним и сформулированы выше приведенные рекомендации.

**Тема диссертации «Интенсификация термохимических процессов поточной воздушной газификации угля применительно к энергетике» соответствует паспорту специальности «01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника» (по части формулы специальности: «численное и натурное моделирование теплофизических процессов в природе, технике и эксперименте»; области исследований: «экспериментальные и теоретические исследования процессов взаимодействия интенсивных потоков энергии с веществом»)), так как в диссертации приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований процессов тепломассопереноса в условиях фазовых**

превращений и химического реагирования при газификации углей. **По отрасли наук** диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к работам **на соискание ученой степени кандидата технических наук**, так как она направлена на разработку способов интенсификации термохимических процессов, происходящих при воздушной поточной газификации угля.

Результаты диссертационного исследования Н.А. Абаимова **докладывались на научных конференциях различного уровня** в г. Казань, Новосибирск, Москва, Екатеринбург, Санкт-Петербург, Питсбург, и **публиковались в журналах**, рекомендованных ВАК Министерства высшего образования и науки РФ для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций («Теплоэнергетика», «Тепловые процессы в технике», «Теплофизика и аэромеханика», «Физика горения и взрыва»). В список работ также вошли 2 главы в коллективной монографии и 1 патент на полезную модель.

При пояснении личного вклада автора диссертации сформулированы важные пояснения, которые дают понять масштабы проделанной работы и выделить большой коллектив, помогающий проводить исследования на трех стендах, а также соответствующие расчеты, анализа результатов и подготовку публикаций. Выполнена масштабная работа, результаты которой имеют большой потенциал к практическому использованию.

На основании анализа содержания рукописи и автореферата диссертации Н.А. Абаимова можно сделать вывод о том, что **диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждения ученых степеней**, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации, так как является законченной **научно-квалификационной работой**, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение в области интенсификации термохимических процессов поточной воздушной газификации угля.

Считаю, что **Николай Анатольевич Абаимов** заслуживает присуждения  
ученой степени кандидата технических наук по специальности  
**01.04.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника.**

Доктор физико-математических наук, профессор  
(01.04.14, физико-математические науки),  
профессор Исследовательской школы физики высокоэнергетических  
процессов Национального исследовательского Томского политехнического  
университета

Стрижак Павел Александрович  
(3822) 606-102  
pavelspa@tpu.ru

Подпись П.А. Стрижака заверяю  
Ученый секретарь Национального  
исследовательского Томского  
политехнического университета  
Ананьева Ольга Афанасьевна

Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет  
634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30  
т. 8(3822), 701-777, <https://tpu.ru/>  
06.05.2019

