

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук, доцента кафедры теплоэнергетики ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» г. Кемерово,

Шевырёва Сергея Александровича

на диссертационную работу Кузнецова Виктора Александровича по теме **«Математическое моделирование процессов тепло- и массообмена для перспективных технологий энергетического использования угольного топлива»**,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

Актуальность темы диссертации.

В диссертационной работе поставлена цель развития методов математического моделирования процессов газификации и горения распыленного угольного топлива. Данная тематика исследований является перспективной и отражает современные тенденции развития нетрадиционных технологий переработки твердого топлива.

Анализ литературных данных показывает, что более широкое использование угольного топлива в выработке энергии сдерживается в связи с тем, что оно показывает худшие показатели экологичности по сравнению с природным газом на всех этапах его жизненного цикла – добыча, транспорт, подготовка к сжиганию, непосредственное сжигание. В связи с этим во всем мире развиваются нетрадиционные технологии переработки угольного топлива, которые позволяют значительно улучшить его экологические характеристики. К таким технологиям могут быть отнесены газификация и сжигание водоугольного топлива. Именно эти направления были выбраны Кузнецовым В.А. для исследования методами математического моделирования.

Современные направления в исследованиях математического моделирования сконцентрированы на установлении характеристик, влияющих на адекватное представление физико-химических процессов реагирования горючей массы топлива с окислителем в виде кислорода при горении, а также водяным паром при газификации (для данной работы). В этом вопросе стоит выделить, например, последовательность стадий реагирования угольных частиц с окислительной средой, длительность протекания этих стадий, протекающие на каждой стадии физико-химические процессы и другие параметры. Особое значение при математическом моделировании играют механизмы тепломассопереноса и протекающие химические реакции между реагирующими веществами. Детальное описание характеристик протекающих химических реакций (порядок реакции, константа равновесия, энергия активации, константа скорости реакции) позволяет на основе теоретических представлений и известных экспериментальных данных получить достаточно точное представление существа химического реагирования.

Другим, несомненно, важным вопросом с точки зрения конструирования энергетического оборудования являются аэродинамические характеристики движения полидисперсного и полифракционного потока реагирующих веществ в ограниченном пространстве. Описание такого движения с точки зрения современных представлений может быть получено на основе решения системы уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу. Такой подход был применен в настоящей работе и показал удовлетворительное совпадение экспериментальных результатов и результатов численного моделирования.

В диссертационной работе Кузнецова В.А. представлен анализ результатов численного моделирования перспективной конструкции поточного газогенератора и горения водоугольного топлива при использовании современных подходов описания турбулентного движения потока газа и твердых частиц, осложненного протеканием разнообразных химических реакций и сопутствующего теплообмена. Результаты такого рода исследований, несомненно, будут востребованы, так как дают возможность прогнозировать работу современного энергетического оборудования и перспективных энергоустановок, позволяющих использовать экологически чистые технологии переработки угольного топлива.

Следует отметить, что диссертация В.А. Кузнецова по основным отличительным признакам (цель, задачи, методы исследования, защищаемые положения, результаты, ориентация на решение практических задач теплоэнергетики) соответствует приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в Российской Федерации «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика» (перечень этих направлений утвержден Указом Президента РФ 07 июля 2011г. N 899).

Общая методология и методика исследования.

Диссертационная работа В.А. Кузнецова изложена на 125 страницах, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. В работе процитировано 108 литературных источников (как отечественных, так и зарубежных), что свидетельствует о хорошей проработке диссертантом научной литературы по теме работы.

Работа В.А. Кузнецова является теоретической с последующим сравнением результатов численных расчетов с экспериментальными данными других авторов. Автор выполнил обзор исследований, относящихся к проблеме использования угольного топлива, в результате которого сделаны выводы о недостаточном количестве работ по комплексному пространственному моделированию задач газификации пылеугольного топлива и сжигания водоугольного топлива.

В результате проведенного анализа автор предлагает разработанную математическую модель, которая учитывает движение двухфазных потоков с протеканием физико-химических превращений горючей массы угольного топлива для гетерогенных и газофазных химических реакций. Математическая модель учитывает протекание таких стадий как прогрев исходного топлива, испарение влаги, выделение летучих веществ и непосредственно процессы

воспламенения, горения и газификации. На основе принятых допущений аэродинамики и кинетики протекания, принятых в модели химических реакций, проведено тестирование математической модели для различных исходных условий. По результатам тестирования было показано, что разработанная математическая модель удовлетворительно описывает основные параметры переработки угля. Были сделаны выводы о точности получаемых результатов при использовании различных моделей турбулентности – k - ε , k - ω SST Ментера, *RSM*.

Научная новизна полученных результатов. Наибольшее значение для науки и практики имеют результаты В.А. Кузнецова расчетно-теоретических исследований физико-химических процессов переработки твердого топлива (угля) и сформулированные после их анализа и обобщения выводы:

1. Разработана математическая модель и метод расчета физико-химических процессов при горении и газификации измельченного водоугольного топлива в потоке;

2. Было проведено сопоставление нескольких моделей турбулентности (стандартной k - ε , k - ω SST Ментера, *RSM*), которые дают схожие результаты моделирования. Показано, что при использовании модели *RSM* лучше описываются пульсационная составляющая скорости, а также образование оксидов азота лучше согласуется с результатами экспериментальных данных горения водоугольного топлива;

3. Разработанная математическая модель удовлетворительно описывает основные параметры поточного процесса газификации твердого топлива в перспективной конструкции двухстадийного реактора, основанного на технологии *EAGLE*. Показаны результаты математического моделирования при использовании Кузнецкого угля при производительности до 1700 т/день;

4. На основе экспериментальных исследований других авторов опытно-эксплуатационной эксплуатации водогрейного котла малой мощности (1 МВт) проведено численное моделирование процесса горения водоугольного топлива. При сжигании отходов углеобогатительной фабрики в виде водоугольной суспензии показаны удовлетворительные результаты математического моделирования. В частности отмечена возможность снижения выбросов оксидов азота примерно на 30% при понижении температуры горения в топке.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Разработанная В.А. Кузнецовым трехмерная математическая модель горения и газификации твердого топлива протестирована при использовании программных комплексов, которые применимы для моделирования широкого круга задач и в частности горения и газификации твердого топлива. Полученные результаты тестирования математической модели удовлетворительно согласуются с известными литературными данными и опытно-эксплуатационным сжиганием водоугольного топлива в водогрейном котле малой мощности.

Практическая значимость.

Автором представленной диссертационной работы предложена трехмерная математическая модель, которая может прогнозировать результаты сложных физико-химических процессов горения и газификации твердого топлива (угля).

Применение разработанной математической модели для известных и перспективных энергетических установок – газогенераторов и котлов – позволяет вносить конструктивные изменения на этапе их проектирования, а также отладке режимных параметров в процессе работы при переменных характеристиках, например, исходного топлива. Это способствует надежной и эффективной эксплуатации таких установок.

Практическая значимость результатов работы подтверждена внедрением полученных результатов в образовательный процесс и научно-исследовательскую деятельность кафедры Тепловые электрические станции Уральского федерального университета. Стоит также отметить, что результаты математического моделирования используются в практической деятельности компании ЗАО «Корпорация ПРОТЭН».

Замечания по диссертационной работе, носящие дискуссионный характер

1. В главе 2 «Описание математической модели и метода расчета» используется число Рейнольдса, значения которого в рассматриваемой задаче могут достигать $10^5 \dots 10^6$. Что за скорость, и какой характерный размер отвечали этим значениям? Например, в формуле (2.12) при расчете числа Рейнольдса введена плотность частицы, а не газового потока. С учетом газового потока чисел Рейнольдса 10^5 не достигнуть.

2. К записанным формулам в диссертации очень часто отсутствуют пояснения к принятым автором обозначениям. Автором работы проявлена небрежность в написании формул, например (2.13).

3. Автору необходимо пояснить, почему в модели горения (формула 2.20) не учитывается $2C + O_2 = 2CO$, ведь обе эти реакции идут параллельно и независимо друг от друга. Какой случай рассматривает автор и почему?

4. В модели горения газового топлива (§ 2.6, вероятно, это газы, образовавшиеся в результате гетерогенных реакций на коксе) записаны реакции горения и газификации (табл. 2.1). Поясните, какими реакциями образовался метан, так как в рассматриваемых моделях реакция образования метана отсутствует.

5. Автору следует внимательно относиться к ссылкам на источники при использовании из них материалов. Например, по тексту в 4-й главе (§ 4.2) сделаны две ссылки на источник [38], а информация из этого источника представлена в значительном объеме, как в виде рисунков и таблиц, так и текста. Первое восприятие материала допускает, что это Ваш труд.

6. В табл. 4.12 представлено удовлетворительное согласование результатов расчета по концентрациям оксидов азота в дымовых газах с экспериментальными данными, а значительное расхождение по механическому недожогу не отмечено и не подвергнуто анализу.

7. Автор отмечает повышение химического КПД в 4-й главе (§ 4.1) при оптимизации конструкции двухстадийного поточного газогенератора. Однако в работе нет пояснений данной величины и способов её расчета при различных вариантах оптимизации газогенератора.

Заключение

На основании анализа содержания рукописи и автореферата диссертации В.А. Кузнецова можно сделать вывод о том, что диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 01.10.2018), так как является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержатся подходы для решения задачи, имеющей существенное значение для повышения экологической эффективности сжигания водоугольных суспензий и газификации угольных топлив в теплоэнергетических установках. Считаю, что Виктор Александрович Кузнецов заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 - теплофизика и теоретическая теплотехника.

Официальный оппонент,
кандидат технических наук,
(специальность 01.04.14 - «Теплофизика и теоретическая теплотехника»),
доцент кафедры теплоэнергетики ФГБОУ ВО
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
г. Кемерово

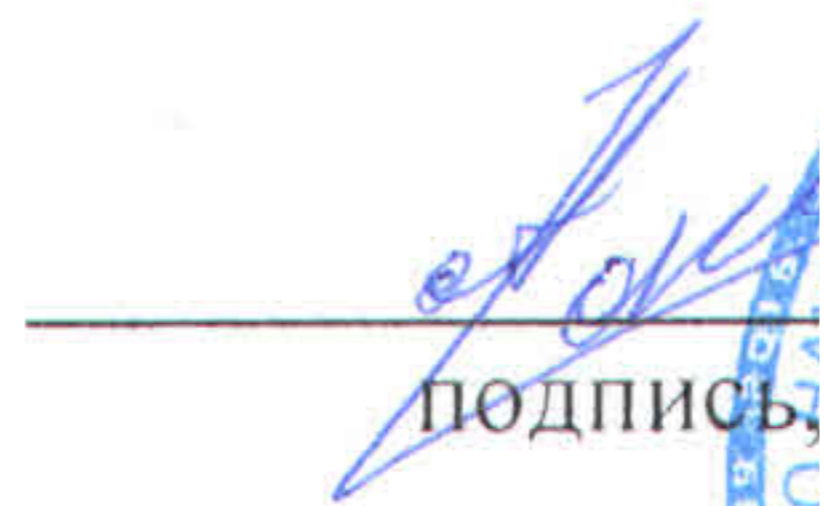
Шевырёв Сергей Александрович
E-mail: ssa.pmahp@kuzstu.ru
Тел.: +7-923-497-4540



05.04.2019

Подпись Шевырёва С.А. заверяю:

Ученый секретарь
КузГТУ



.А. Соколова

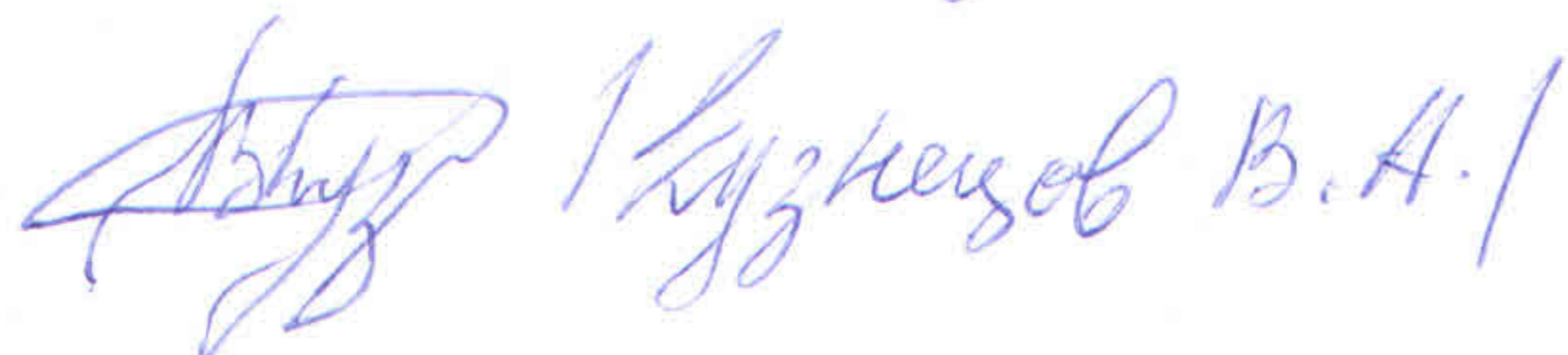
Адрес: Россия, 650000, г. Кемерово, ул. В
Тел.: 8 (3842) 68-23-14
Факс: 8 (3842) 39-69-60
E-mail: rector@kuzstu.ru
Web: <https://www.kuzstu.ru/>



Поставил в совет 10.04.2019
Уч. секретарь ДС ВУ / Соколова А.А.

с отзывом ознакомились 12.04.19

- 5 -

 Кузнецов В.А.