

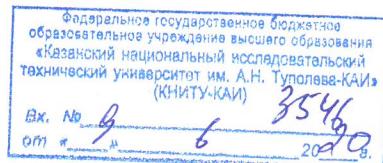
В диссертационный совет Д 212.079.02 при  
ФГБОУ ВО «Казанский национальный  
исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева-КАИ»

420111, г.Казань, ул. К.Маркса, д.10

## ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации Гасилина Виталия Викторовича  
«Математическое моделирование реагирующих газо-угольных потоков в  
установках с пониженным содержанием вредных выбросов»  
на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

В настоящее время использование угля в качестве источника тепловой, а после преобразования, электрической энергии постепенно сокращается. Это обусловлено жесткими экологическими требованиями и преимуществами сжигания газообразного топлива. Тем ни менее, в энергетике и других отраслях промышленности продолжают действовать установки, работающие на различных сортах угля. В перспективе, особенно в периоды сокращения разведанных запасов природного газа, роль этих энергетических установок значительно возрастает. Однако, для этого необходимы экологически чистые технологии сжигания угля, позволяющие существенно снизить содержание окислов азота и серы в продуктах сгорания. Математическое моделирование процессов горения – эффективный путь решения такой задачи. Имеющиеся модели процесса горения распыленного угля несовершенны и в первую очередь в отношении снижения экологически вредных выбросов в окружающую среду. Поэтому разработка и модификация комплексных моделей, алгоритмов и программного обеспечения расчетов характеристик процесса горения распыленного угля в установках с улучшенными экологическими показателями – **актуальная** задача, решению которой посвящена данная работа.



Диссертация включает Введение, 5 глав, Заключение, список цитируемой литературы, список принятых обозначений и сокращений, Приложение и изложена на 170 страницах. В введении приводится общая характеристика диссертационной работы.

В Главе 1 проведен обзор научно-технической литературы по теме работы. Показано, что уголь по -прежнему остается востребованным как один из надежных источников тепловой и электрической энергии. Однако, существующая практика сжигания угля в энергетических установках несовершенна и в первую очередь с экологической точки зрения. Для решения этой проблемы необходимы новые прогрессивные технологии, основанные на результатах научных исследований, в частности, на результатах математического моделирования. Анализируя имеющиеся работы, диссертант очерчивает круг взаимосвязанных процессов, описывающих различные этапы горения угольных частиц, а также процессов, приводящих к образованию и нейтрализации окислов серы и азота. Логическим завершением обзора является формулировка цели и задач исследования.

Глава 2 посвящена разработке новой комплексной модели, описывающей всю совокупность физико-химических процессов, сопровождающих горение распыленного угля от момента входа в зону горения и до окончания процессов, нейтрализующих окислы азота и серы в продуктах сгорания. В этой модели диссертанту удалось объединить следующие основополагающие процессы и факторы: испарение влаги из частиц, образование и выход летучих веществ, горение углерода, наличие минеральных примесей, химические реакции в газовой фазе, введение в поток частиц  $\text{CaCO}_3$ , различие скоростей частиц и газового потока. Рассмотрены два варианта реализации математической модели: для горения частиц угля в потоке горячего воздуха с последующим вводом охлаждающей жидкости и в случае горения смеси генераторного газа с угольными частицами с участием первичного и вторичного воздуха.

В Главе 3 соискателем разработан алгоритм и программный комплекс, необходимый для численного анализа исследуемого процесса горения согласно

обеим версиям предлагаемой математической модели. Использована известная хорошо апробированная разностная схема Пиумова. Сформирована база данных для реагирующей системы (C+H+O+N+S+Ca), которая включает 88 веществ и более 500 реакций.

Считаю, что результаты, представленные в Главах 2 и 3 – **главное научное достижение** диссертанта. Несомненным достоинством разработанного алгоритма и программного обеспечения является **универсальность**, позволяющая использовать их для изучения горения различных сортов и составов угля, а после соответствующей корректировки для других распыленных твердых топлив.

**Глава 4** посвящена апробации разработанной модели и программного обеспечения для анализа горения распыленного угля в канале с подачей охлаждающей воды. Установлены оптимальные условия, а именно: температура потока и расход впрыскиваемой воды, для которых захват двуокиси серы наиболее эффективен в случае горения битумного и суб-битумного угля. Даны оценка влияния размера частиц, разницы скоростей газового потока и находящихся в нем частиц на характеристики процесса горения и сульфатизации продуктов сгорания.

В **Главе 5** излагаются результаты численного исследования процесса совместного сжигания угольных частиц и генераторного газа в экспериментальной камере сгорания с участием первичного и вторичного воздуха. Установлены закономерности сгорания генераторного газа и частиц угля по мере перемещения по камере сгорания. Определены причины образования окиси азота. Даны количественная оценка влияния точки ввода вторичного воздуха и диаметра частиц на распределение температуры потока и распределение концентрации окислов азота и серы вдоль камеры сгорания.

Результаты работы, изложенные в главах 4 и 5 – это **новые** научные данные. Их **достоверность** не вызывает сомнений, т.к. они получены на основе фундаментальных законов физики, математики и химии, с использованием апробированных методов численного анализа.

**Практическая значимость** полученных результатов видится в том, что они послужат основой для разработки новых перспективных технологий сжигания не только распыленного угля, но и других твердых топлив в энергетических установках с улучшенными экологическими характеристиками. Подтверждением сказанному является Акт об использовании результатов работы на одном из предприятий с целью оптимизации процесса сжигания древесной цепы в топке газогенератора.

Автореферат диссертации достаточно полно и ясно отражает ее основное содержание.

**Имеются следующие замечания:**

1. Минеральные примеси, обычно – это набор ряда сложных веществ. В модели учтены только  $Al_2O$  и  $SiO_2$ . Обоснование такого подхода отсутствует.
2. Недостатки оформления:

2.1. Для лучшего восприятия работы и оценки ее результатов было бы желательно после каждой главы подвести краткие итоги.

2.2. Программный комплекс – один из основных результатов. Однако, в тексте ему удалено недостаточно внимания, отчего его схема (Рис. 3.1) выглядит малоинформационной.

2.3. Под Рис.1.3 на с.15 почти полностью отсутствует расшифровка цифровых обозначений.

В целом, данная диссертационная работа является **законченным** научным исследованием, в котором решена **актуальная** научно-техническая задача. Считаю, что результаты работы имеют существенное значение для развития теории горения, совершенствования методов численного моделирования процессов горения распыленных твердых топлив и послужат основой для разработки экологически безопасных технологий сжигания твердых топлив в промышленных энергетических установках.

Считаю, что диссертационная работа удовлетворяет п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», в ее автор Гасилин Виталий Викторович

заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Профессор кафедры технической физики и энергетики ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», доктор технических наук, доцент  
420008 г. Казань, ул. Кремлевская, 18  
(843)2337054

Ларионов Виктор Михайлович

«5» июня 2020 г.

