

## О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу  
Халида Хамеда Эльшейха Эльхага «Снижение вредных выбросов,  
включая парниковые газы, при кислородном сжигании твердого  
топлива в циркулирующем кипящем слое», представленную на соис-  
кание ученой степени кандидата технических наук по специальности  
05.17.07 –Химическая технология топлива и высокоэнергетических ве-  
ществ

Работа Халида Хамеда Эльшейха Эльхага посвящена исследованию возможностей снижения вредных выбросов в атмосферу (двуокиси углерода, оксидов азота и серы, закиси азота), в частности кислородному сжиганию твердых топлив в кипящем слое с рециркуляцией  $\text{CO}_2$ , включая совместное сжигание углей и биомассы. Исследования проводились с применением современных методов математического и компьютерного моделирования с использованием программных комплексов ANSYS CHEMKIN-PRO и MATLAB. По результатам анализа литературных данных и собственных исследований даны рекомендации по улучшению режимов совместного кислородного сжигания угля и биомассы с позиций снижения выбросов двуокиси углерода, оксидов азота и серы, закиси азота в атмосферу.

### Актуальность проблемы

В связи с отмеченным выше, оценку актуальности работы Халида Хамеда Эльшейха Эльхага следует отметить ряд аспектов. Прежде всего, это доказательство возможности применимости метода математического и компьютерного моделирования с использованием программных комплексов ANSYS CHEMKIN-PRO и MATLAB (ТПВ) к исследованиям возможностей снижения вредных выбросов в атмосферу. Кроме того, в связи с актуальными тенденциями в мире по реализации программ исследований возможностей снижения эмиссии углекислого газа кислородное сжигание топлива увеличивает его содержание в дымовых газах до 90 %, что облегчает улавливание  $\text{CO}_2$  и других вредных газов.

### Научная новизна работы

Для процесса кислородного сжигания твердых топлив в циркулирующем кипящем слое (ЦКС) с рециркуляцией  $\text{CO}_2$  определены следующие параметры:

1. Гидродинамические параметры потоков при связывании серы путем подачи известняка или оксида кальция в топку;
2. Режимные параметры подавления выбросов двуокиси и закиси азота;
3. Параметры влияния свойств биотоплив на выбросы оксидов азота;
4. Условия минимизации выбросов оксидов азота и серы.

### **Практическая значимость**

Практическая значимость диссертационной работы Халида Хамеда Эльшейха Эльхага состоит в следующем:

1. Для исследования процессов кислородного сжигания твердых топлив в циркулирующем кипящем слое (ЦКС) с рециркуляцией  $\text{CO}_2$  предложено использовать программные комплексы ANSYS CHEMKIN-PRO и MATLAB.

2. Найденные методом математического моделирования условия проведения процесса кислородного сжигания твердых топлив в циркулирующем кипящем слое (ЦКС) с рециркуляцией  $\text{CO}_2$  дают возможность ориентироваться на них при масштабировании процесса и создании опытно-промышленных установок.

3. Разработан метод оценки вредных выбросов оксидов азота и серы, что важно для комплексного снижения вредных выбросов, и может применяться при проектировании топочных устройств котлов с циркулирующим кипящим слоем при сжигании в среде кислорода с рециркуляцией  $\text{CO}_2$ .

### **Достоверность полученных результатов**

Достоверность сформулированных научных положений и выводов обеспечивается корректным использованием современных методик проведения расчетных исследований, применением надежных методик математического моделирования, системного анализа и оценки результатов компьютерного моделирования.

## Характеристика работы

Диссертация изложена на 118 страницах, содержит 48 таблиц и 42 рисунка, а также приложение. Список цитированной литературы содержит 86 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования, представлены новизна и практическая значимость работы. **Первая глава** (обзор литературы) включает различные разделы, посвященные современному состоянию исследований в области воздушного и кислородного сжигания твердых топлив и биомассы. Далее следует **вторая глава**, в которой на основе литературных данных приводится оценка влияния различных факторов на сжигание твердых топлив и биомассы в циркулирующем кипящем слое (ЦКС) при улавливании  $\text{CO}_2$ . Дано обоснование совместного сжигания твердых топлив и биомассы в среде кислорода с рециркуляцией твердой фазы в циркулирующем кипящем слое (ЦКС). **В третьей главе** представлена методология компьютерного моделирования процессов сжигания в среде воздуха и кислорода с применением комплексов программ ANSYS CHEMKIN-PRO и MATLAB и приведено сравнение полученных при этом результатов расчетов. **В четвертой главе** с применением полученных в третьей главе компьютерных моделей проведено расчетное исследование различных факторов на процесс кислородного сжигания топлив в кипящем слое с улавливанием  $\text{CO}_2$ . Завершают текст **выводы** и список использованной **литературы**.

Автором опубликовано 7 статей, в том числе 4 – рецензируемых международных базах данных SCOPUS, 3 - в журналах из списка, рекомендованных ВАК. Проведена апробация работы на международных и всероссийских конференциях, по результатам которых опубликованы тезисы 3 докладов.

Автореферат и опубликованные работы достаточно отражают содержание диссертации.

### Замечания по диссертации

1. В паспорте специальности 05.17.07–Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ нет пункта об исследованиях методами математического моделирования, хотя мое персональное мнение, что наряду с физико-химическими методами он должен присутствовать как неотъемлемый атрибут методологии науки XXI века.

2. Используемые в работе математические модели не обосновываются, а приводятся как абсолютная истина, что не всегда правомочно.

3. Алгоритмы решения систем дифференциальных уравнений не приведены и не обсуждаются, что необходимо при проведении исследований методами математического моделирования.

4. Не осуществляется проверка адекватности математических моделей и не представлены методы оценки адекватности.

5. Не приведены способы определения коэффициентов математических моделей, в том числе кинетических параметров, коэффициентов массопередачи и параметров уравнений тепловых (энергетических) балансов.

6. Задача оптимизации не решена, хотя это декларируется, в том числе и в названии главы 4, а в результате расчетных исследований найдены улучшенные параметры проведения процессов.

7. Результаты расчетных исследований представлены, в основном, в графическом виде, что не является достаточно информативным и вызывает определенное недоверие к выполненным исследованиям.

8. Обозначения переменных в уравнениях ни в диссертации, ни в автореферате не приводятся должным образом, что делает затруднительным ознакомление с материалами диссертации даже для специалистов.

9. Диссертация и автореферат оформлены не лучшим образом, много небрежностей:

– почему-то глава 2 также является литературным обзором наряду с главой 1;

Несмотря на сделанные замечания, диссертация отличается подробным и основательным качеством исполнения, содержит обширный материал по результатам расчетных исследований, на базе обсуждения которых сделаны обоснованные теоретические выводы и даны практические рекомендации.

### Заключение

Общее содержание **диссертации** Халида Хамеда Эльшейха Эльхага, уровень выполнения ее разделов и полученные результаты позволяют считать, что она **является** **завершенной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям**, установленным п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, утвержденным постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, в редакции постановления Правительства РФ от 30 июля 2014 года № 723, предъявляемым к дис-

сертациям на соискание ученой степени кандидата наук. В ней на основании выполненных автором исследований решена научная задача, заключающаяся в снижении вредных выбросов оксидов азота, закиси азота и оксидов серы при совместном кислородном сжигании углей и биомассы в кипящем слое с рециркуляцией  $\text{CO}_2$ .

Содержание диссертационной работы и автореферата соответствует паспорту научной специальности 05.17.07 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ, в части по п. 7 «Физико-химические методы исследования твердых горючих ископаемых с целью повышения качества топлив и нетопливных продуктов на базе углей разной степени углефикации, а также сланцев, торфов, тяжелых нефтяных остатков», по п. 8 «Разработка новых процессов переработки органических и минеральных веществ твердых горючих ископаемых с целью получения продуктов топливного и нетопливного назначения» и п. 12 «Экологические аспекты переработки топлив. Разработка технических и технологических средств и способов защиты окружающей среды от вредных выбросов производств по переработке топлив», а ее автор, Халид Хамед Эльшейх Эльхаг, заслуживает присвоения искомой **ученой степени кандидата технических наук** по указанной выше специальности.

Официальный оппонент

зав. кафедрой информатики и компьютерного проектирования

ФГБОУ ВО «Российский химико-

технологический университет им. Д.И. Менделеева»

доктор технических наук по специальности

05.13.16 – Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях (химия),

профессор

Гартман Томаш Николаевич

125047, ГСП, Москва, А-47, Миусская пл., д.9

Телефон: 8-499-978-84-11,+79037243250

e-mail: gartman@muctr.ru; tngatman@gmail.com

Подпись Т.Н. Гартмана заверяю:

*указан секретарь*



*«Калинин»*