

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента по диссертации Халид Хамед Эльшейх Эльхага «Снижение вредных выбросов, включая парниковые газы, при кислородном сжигании твердого топлива в циркулирующем кипящем слое», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.17.07 - Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ

### **Актуальность диссертационного исследования**

Развитие энергетики, основанной на сжигании твердого органического топлива, в мировом масштабе существенно ограничивается ужесточением экологического законодательства в части выбросов в атмосферу диоксида углерода, соединений серы и оксидов азота. В настоящее время большинство международных компаний активно развивают технологии сжигания углей и очистки дымовых газов с целью минимизации негативных последствий функционирования угольной энергетики и перехода на экологически чистые технологии сжигания. В ряду этих решений существенное значение приобретают исследования, направленные на разработку кинетических и термодинамических моделей, описывающих влияние различных факторов (состава органического сырья, концентрации и состава окислительной среды, температуры, катализаторов, добавок биомассы и т.п.) на содержание в отходящих газах оксидов азота, серы и углерода. В связи с этим, диссертационная работа Халид Хамед Эльшейх Эльхага, посвященная исследованию закономерностей и моделированию процессов образования и подавления вредных выбросов при сжигании топлив в среде кислорода с рециркуляцией диоксида углерода, является актуальной и своевременной.

### **Основное содержание работы**

Диссертация состоит из введения, 4-х глав, выводов, списка литературы, содержащего 86 источников и 2-х приложений; содержит 110 рисунков и 43 таблицы.

В первой главе автором приведен обзор литературных источников, посвященный вопросам развития современных технологий сжигания в циркулирующем слое, исследованию механизма образования и преобразования газообразных соединений азота, серы и углерода в зависимости от вида сжигаемого сырья, состава газов-окислителей, условий сжигания, присутствия различных минеральных веществ (в том числе на основе щелочных и щелочноземельных металлов) как привнесенных, так и входящих в состав ископаемых углей. Автор отмечает неоднозначное влияние указанных факторов на изменение выхода и состава разных газообразных оксидов и делает обоснованный вывод о необходимости применения современных методов математического моделирования для разработки технических решений по оптимизации условий кислородного сжигания топлив в циркулирующем кипящем слое (ЦКС). На основании проведенного анализа автором сформулированы задачи исследования.

Вторая глава посвящена обоснованию процесса сжигания топлив, который по мнению автора является наиболее привлекательным в части возможности управления составом выбросов. При обосновании технологии автор приводит дополнительные литературные данные о технологиях улавливания диоксида углерода, соединений серы и преобразованиях оксидов азота. Технология сжигания топлив в кипящем слое в средах, обогащенных кислородом, с применением рециркуляции, подробно рассмотрена в работе; показана возможность совместного использования при сжигании углей биомассы, что позволяет дополнительно снижать в дымовых газах концентрацию окислов азота и серы. Критичным для реализации предлагаемой технологии автор обоснованно считает процесс получения (или концентрирования) кислорода, промышленная реализация которого может снизить экономическую привлекательность процесса.

В третьей главе представлены результаты моделирования процессов горения топлив в условиях технологии ЦКС в воздушной и кислородной средах. Для моделирования автор использует современное

специализированное программное обеспечение, успешно зарекомендовавшее себя при решении аналогичных задач. Автор приводит описание математических моделей применительно к условиям ЦКС, схему и алгоритмы расчетов. Полученные расчетные величины автор сопоставляет с экспериментальными данными по составу дымовых газов для разных вариантов топлива (в том числе смесей угля с биомассой). Отдельно приведены результаты моделирования и соответствующие экспериментальные данные по подавлению образования оксидов углерода и серы в присутствии добавок известняка. Установлена хорошая согласованность между расчетными и экспериментальными результатами: кислородное сжигание по сравнению с воздушным позволяет снизить содержание оксидов азота. Более сложные закономерности выявлены автором при анализе результатов моделирования образования оксида серы: в целом, кислородное сжигание приводит к увеличению концентрации оксидов серы по сравнению с воздушным, однако применение определенных количеств известняка позволяет частично подавлять этот эффект. В работе на основании моделирования определены оптимальное соотношение известняка и серы, при котором достигается максимальный эффект снижения оксидов серы в отходящих газах, а также проведена оценка влияния размера частиц известняка.

Четвертая глава является заключительной. В ней автор анализирует полученные результаты и предлагает возможные механизмы, которые реализуются при использовании разных вариантов и условий организации процесса сжигания в ЦКС.

#### **Научная новизна полученных результатов и их практическая значимость**

При выполнении диссертационного исследования автор получил новые оригинальные результаты и закономерности процесса сжигания топлив и биомассы в условиях ЦКС, в том числе:

- результаты влияния концентрации кислорода на изменение содержания оксидов азота и серы при совместном сжигании углей и биомассы;
- влияние размера частиц известняка на эффективность снижения концентрации оксидов серы в условиях кислородного и воздушного сжигания;
- закономерности изменения содержания оксидов серы в дымовых газах в зависимости от мольного соотношения кальций/сера при использовании известняка в процессе очистки дымовых газов.

Практическая значимость работы заключается в разработке аналитического инструмента для выбора оптимальных условий организации процессов сжигания топлив в части минимизации вредных выбросов в атмосферу.

**Достоверность и обоснованность** основных результатов, научных положений и выводов подтверждается использованием хорошо апробированного специализированного программного обеспечения, хорошей согласованностью расчетных и экспериментальных данных, удовлетворительными метрологическими характеристиками полученных результатов, представлением результатов работы в печати и обсуждением ее на международных конференциях.

Результаты диссертационной работы обсуждены на международных конференциях и достаточно полно опубликованы в 10 печатных работах, из них 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, 3 публикации в журналах, индексируемых в наукометрической базе Scopus. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

### **Замечания**

1. Автор достаточно равномерно распределил обзор литературных источников в 1 и 2 главах диссертации. Работа была бы более структурированной, если бы автор сконцентрировал обзор в 1-й главе.

2. В работе автор постоянно проводит сравнение между расчетными и экспериментальными данными. Однако в диссертации полностью

отсутствует информация о конструкции лабораторных (или промышленных) установок, на которых были получены эти результаты и условиях проведения этих экспериментов.

3. На рисунке 32 диссертации в подрисуночной подписи автор указывает, что полученные результаты демонстрируют влияние золы биомассы на содержание в газах оксидов серы. Это достаточно спорное утверждение, так как наблюдаемый эффект может быть объяснен уменьшением доли угля в смеси, тем более что состав смеси автором не указан. То же самое касается вывода о каталитическом влиянии минеральных компонентов биомассы на содержание оксидов серы.

4. Диссертационная работа содержит грамматические и стилистические ошибки, а также разное форматирование текста.

Сделанные замечания имеют рекомендательный характер и не влияют на высокую оценку диссертационной работы.

### **Заключение**

Диссертация Халид Хамед Эльшейх Эльхага «Снижение вредных выбросов, включая парниковые газы, при кислородном сжигании твердого топлива в циркулирующем кипящем слое» является законченной научно-квалификационной работой, основное содержание, результаты, научные положения и выводы которой соответствуют паспорту специальности 05.17.07 «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ». Диссертационная работа 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 диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Соискатель Халид Хамед Эльшейх Эльхаг заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.07 «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ».

## Официальный оппонент

Профессор кафедры «Физика», зав. научно-учебной испытательной лабораторией «Физико-химии углей» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», доктор технических наук, старший научный сотрудник

Эпштейн Светлана Абрамовна

«02» 11 2020 г.

Адрес: 119049, г. Москва, Ленинский проспект, 4  
Телефон: +7(916)5970301,  
Адрес электронной почты: [apshtein@yandex.ru](mailto:apshtein@yandex.ru)

Подпись Эпштейн Светланы Абрамовны заверяю

Проректор по безопасности и общим вопросам НИТУ «МИСиС»

И.М. Исаев

