

## ОТЗЫВ

официального оппонента к.т.н., доцента **Николайкиной Н.Е.**  
на диссертационную работу **Строкова Андрея Александровича**  
*на тему: «Исследование очистки от сероводорода с помощью*  
*минеральных хемосорбентов генераторного газа, сжигаемого*  
*в энергетических парогазовых установках с газификацией углей»,*  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности *05.14.14 – «Тепловые электрические станции, их*  
*энергетические системы и агрегаты»*

### Актуальность темы

Содержание диссертационной работы Строкова А.А. посвящено решению задачи создания экологически безопасной высокотемпературной подготовки топлива для систем производства тепла и электроэнергии с помощью природных рудных материалов методом химической сорбции.

Теплоэнергетика является одним из основных источников антропогенного загрязнения атмосферы. Наиболее массовыми загрязнителями воздушного бассейна являются оксиды серы, азота, окись углерода, пыль, углеводороды. Соединения серы не только вызывают коррозию оборудования, но и при поступлении в атмосферу оксиды серы являются одним из основных загрязнений приводящих к образованию кислотных дождей. Широко применяемые абсорбционные методы очистки значительных объемов дымовых газов имеют целый ряд недостатков, в том числе сложны в аппаратном оформлении, работают при не высоких температурах поступающих дымовых газов. С целью снижения объема газа поступающего на очистки целесообразным является предварительное удаление соединений серы из любого вида топлива, в том числе из генераторного газа, получаемого газификацией углей. В настоящее время в РФ не эксплуатируются промышленные парогазовые установки с внутрицикловой газификацией угля, обладающие более высоким по сравнению с традиционными теплоэлектростанциями значениями к.п.д. Следует отметить, что угли запасы которых в России составляют примерно 20% от мировых запасов, в перспективе являются одним из основных видов топлива для энергетики.

Для успешного освоения и внедрения в России энергетических парогазовых установок с газификацией угля необходимо повысить их конкурентоспособность за счет снижения их удельной стоимости, которая в

настоящее время высока, в том числе из-за необходимости установки сложного оборудования для очистки генераторного газа от соединений серы.

В этой связи диссертационная работа Строкова А.А., направленная на совершенствование технологии высокотемпературной сероочистки генераторных газов с помощью доступных железомарганцевых руд месторождений России, является актуальной.

**Основные положения работы.** Диссертация содержит 174 страницы машинописного текста, состоит из введения, семи глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка использованной литературы, включающего 85 отечественных и зарубежных источников.

*Во введении* показана актуальность работы, определены ее цели и задачи, научная новизна, приводятся основные положения, выносимые на защиту.

*В первой главе* представлены и проанализированы результаты литературного обзора. Сделан вывод, что наиболее перспективными природными материалами для проведения процесса сероочистки генераторного газа (топлива) являются руды, в состав которых входят железо и марганец.

*Во второй главе* приведены схемы экспериментальных и стендовых установок, методики испытаний и обработки результатов эксперимента.

*В третьей главе* приведены результаты лабораторных исследований по предварительному отбору минеральных руд для процессов хемосорбции. определения физико-химических свойств пяти руд отечественных месторождений, содержащих железо и марганец. Приведены результаты рентгенографического фазового анализа руд, определена хромотографическим методом удельная поверхность образцов руд, определена химическая активность руд по отношению к сероводороду как к наиболее трудносорбируемому соединению серы, входящему в состав генераторного газа. Приведены данные по изменению химического состава руд в результат хемосорбции сероводорода.

*В четвертой главе* представлены исследования процесса сероочистки с использованием трех отобранных по результатам физико-химических испытаний образцов руд (хемосорбентов) газа, полученного газификацией высокосернистого нефтяного кокса на стендовой установке газификации. Испытания показали высокую степень очистки газов всеми образцами железомарганцевых руд, однако высокие прочностные характеристики руды Аскизского месторождения позволили рекомендовать ее для использования в качестве хемосорбента в первую очередь.

В пятой главе приведены результаты изучения побочных химических реакций отобранных образцов минеральных руд с компонентами генераторного газа при высоких температурах. Исследования проводились на лабораторном стенде и модельном генераторном газе в аппарате с неподвижным слоем сорбента. Результаты эксперимента показали, что при температурах порядка  $500^{\circ}\text{C}$  при использовании руды Аскизского месторождения состав генераторного газа остается практически неизменным, что позволяет рекомендовать ее к промышленному применению.

В шестой главе приведены результаты экспериментальных исследований процесса высокотемпературной хемосорбционной очистки генераторного газа рудой Аскизского месторождения в аппарате с кипящим слоем сорбента, а также приведены данные по сравнению исследуемого хемосорбента с широко используемым в промышленности синтетическим сорбентом серосодержащих соединений НИАП-02-05 на основе оксида цинка. Исследования автора показали, что природный хемосорбент почти не уступает синтетическому по поглотительной способности и превосходит его по прочности.

В седьмой главе представлены предлагаемые автором принципиальные технологические схемы проведения сероочистки генераторного газа и рекомендации по возможным вариантам регенерации и утилизации хемосорбента. Показано, что регенерация руды Аскизского месторождения целесообразна не более чем после трех циклов использования. Представлена также сравнительная технико-экономическая оценка высокотемпературной хемосорбционной и абсорбционной очистки. Показана возможность сокращения капитальных расходов на сероочистку примерно в 4 раза при повышении эффективности очистки примерно на 2%.

**Научная новизна** работы состоит в следующем:

- впервые проведены экспериментальные исследования физико-химических свойств и минералогического состава железомарганцевых руд отечественных месторождений с целью обоснования возможности их применения для процессов сероочистки топлива (генераторного газа) в качестве хемосорбента;
- впервые проведено изучением побочных реакций компонентов руд с топливными компонентами ( $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ) генераторного газа, определена хемосорбционная ёмкости руд к сероводороду на модельных газовых смесях и на реальном генераторном газе, в режиме неподвижного и кипящего слоя хемосорбента;

- разработаны и обоснованы технологии применения для сероочистки генераторного газа в энергетике (в парогазовых установках с газификацией угля малой и большой мощности, в твердооксидных топливных элементах, работающих на газе газификации твердого топлива) минерального хемосорбента на основе руды отечественных месторождений;

- на основе полученных экспериментальных данных проведена научно обоснованная технико-экономическая оценка преимуществ разработанного метода высокотемпературной сероочистки генераторного газа с использованием руды Аскизского месторождения.

### **Обоснованность и достоверность результатов работы**

Обоснованность полученных результатов обеспечена многочисленными лабораторными и стендовыми экспериментами, достоверность основана на использовании утвержденных методик испытаний и применении современной аттестованной измерительной аппаратуры и средств обработки данных.

### **Практическая ценность полученных результатов**

Полученные результаты могут быть использованы при разработке в России парогазовых установок с газификацией угля с системой высокотемпературной сероочистки генераторного газа с помощью дешевых и доступных природных хемосорбентов, что позволит упростить установку, снизить её удельную стоимость и повысит КПД.

Разработанные технические решения могут быть использованы при проектировании систем высокотемпературной сероочистки генераторного газа для:

- парогазовых установок с внутрицикловой газификацией угля малой и большой мощности,
- твердооксидных топливных элементов, использующих для выработки энергии продукты газификации угля,
- различных промышленных предприятий, синтезирующих химические вещества с использованием  $H_2$ ,  $CO$  и  $CH_4$ , содержащихся в продуктах газификации угля.

### **Личный вклад автора**

Основные результаты работы являются оригинальными и получены либо лично автором, либо при его непосредственном участии, что подтверждено, в том числе, публикациями.

### **Оценка содержания диссертации, замечания по оформлению диссертации и автореферата**

В целом содержание и оформление диссертации и автореферата соответствуют существующим требованиям. Основные результаты работы в полной мере отражены в публикациях автора и автореферате. Содержание автореферата полностью соответствует основным положениям диссертации.

В качестве замечания следует отметить слишком большой объем автореферата (27 страниц).

### **Соответствие содержания диссертации заявленной специальности**

Работа соответствует заявленной специальности 05.14.14 – «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты», что подтверждается соответствием содержания работы требованиям паспорта специальности 05.14.14, в том числе в области исследований по п. 3 «разработка, исследование, совершенствование... способов снижения влияния работы тепловых станций на окружающую среду». В формуле специальности отмечено, что объектами исследования по данной специальности могут быть: «исследования по существенным особенностям технических и физико-химических процессов, характерных для систем, установок, и агрегатов, связанных единым циклом производства тепла электроэнергии..., систем подготовки и сжигания топлива...».

### **Замечания по работе**

1. В работе не приводится оценка погрешности полученных экспериментальных данных.
2. В работе не приведены расчеты кинетики процесса хемосорбции сероводорода минеральными рудами и не оценено минимальное время, за которое происходит реакция оксидов металлов с сероводородом.
3. В стендовых экспериментах на реальном генераторном газе не определена динамическая ёмкость минеральных хемосорбентов по сероводороду. Непонятно какое время пребывания генераторного газа в адсорбере рекомендуется.
4. При проведении технико-экономической оценки преимуществ разработанного метода высокотемпературной сероочистки не учтены

затраты на хранение, а также необходимость утилизации хемосорбента, выработавшего свой ресурс.

Отмеченные недостатки не значительно снижают ценность проведенных Строковым А.А. исследований, не затрагивают значимость и достоверность основных положений и результатов его диссертационной работы.

### Заключение

Диссертация Строкова А. А. «Исследование очистки от сероводорода с помощью минеральных хемосорбентов генераторного газа, сжигаемого в энергетических парогазовых установках с газификацией углей» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной лично автором, либо при его непосредственном участии на современном научно-техническом уровне, в которой изложены научно обоснованные технические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития отечественной энергетики.

Результаты диссертационной работы представляют научную ценность для обоснования процессов высокотемпературной сероочистки генераторного газа с использованием железомарганцевых руд, а предложенные технические решения имеют практическую значимость.

Представленная работа удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Строков Андрей Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.14 – «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты».

Официальный оппонент, к.т.н., доцент  
кафедры «Процессы и аппараты  
химической технологии» института  
инженерной экологии и химического  
машиностроения им. Л.А. Костанова  
Московского государственного  
машиностроительного университета  
(МАМИ)



Николайкина  
Наталья  
Евгеньевна

28.12.2015г

Адрес места работы: 107023 Москва,

Ул. Большая Семеновская, 38

тел.: 8(910)460-71-85

e-mail: nikols\_153@mail.ru

*Подпись Николайкина Н.Е. завершу.*  
*П. уполномоченный секретарь*  *Н.М. Колтунов*