

## ОТЗЫВ

**официального оппонента Смоликова Михаила Дмитриевича**

на диссертационную работу Кокшарова Антона Георгиевича

на тему: «Повышение эффективности технологии риформинга бензинов путем снижения интенсивности процесса коксообразования с использованием математической модели»,

по специальности 2.6.12 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ на соискание ученой степени кандидата технических наук

### **Актуальность исследования**

Процесс каталитического риформинга является основной технологией в отечественной и мировой нефтепереработке для производства современных товарных бензинов. Основным преимуществом данного процесса является высокое октановое число производимого продукта (до 102 пунктов по ИМ), а также возможность использования смесового сырья, состоящего из прямогонных бензиновых фракций и побочных продуктов процессов вторичной переработки (бензины гидрокрекинга, коксования и др.). На отечественных НПЗ накоплен большой опыт эксплуатации установок каталитического риформинга, вместе с тем, не в полной мере решены вопросы повышения эффективности технологии риформинга с неподвижным слоем катализатора, а также технологии риформинга с непрерывной регенерацией катализатора. Решение данных вопросов неразрывно связано с исследованием процесса дезактивации катализаторов риформинга в условиях нестационарности процесса коксообразования.

Диссертация Кокшарова А.Г. является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований и установленных закономерностей процессов, протекающих в аппаратах на стадии химического реагирования и регенерации, с использованием метода математического моделирования, разработаны теоретические подходы для повышения эффективности процесса каталитического риформинга.

**Во введении** раскрывается актуальность исследования и отражается степень разработанности темы, сформулированы цель и задачи диссертации, раскрыта научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

**Первая глава** отражает результаты литературного обзора по тематике выполненной диссертационной работы. В данной главе проанализировано текущее состояние процесса каталитического риформинга. Научно-технические достижения в области производства катализаторов выделены как наиболее перспективные способы совершенствования процесса. Большое внимание уделено обзору основных вариантов промышленной реализации процесса каталитического риформинга с непрерывной регенерацией.

**Вторая глава** посвящена объекту и методам исследования. В данной главе описана методика построения математической модели процесса каталитического риформинга. Приведены характеристики технологии процесса риформинга с непрерывной, а также периодической регенерацией катализатора. Приведен состав сырья и отражено его влияние на качество получаемого продукта, в процессе исследования используются данные с действующих технологических установок (г. Кириши, г.Омск).

**В третьей главе** подробно рассмотрены существующие методы поддержания оптимального мольного соотношения вода/хлор на поверхности катализатора, обеспечивающие сбалансированность его металлической и кислотной функций. Предложена новая методика подачи хлорорганического соединения и воды в реакторный блок. Проведен расчет термодинамических параметров реакции конверсии кокса с водой. Представленные результаты расчетов позволяют сделать вывод о принципиальной возможности решить технологическую задачу по уменьшению количества кокса, отлагающегося на катализаторе риформинга в процессе его эксплуатации.

**В четвертой главе** проанализирован процесс восстановления активности катализатора риформинга за счет проведения его окислительной регенерации. Расчетами установлены параметры, влияющие на интенсивность протекания процесса регенерации катализатора. Проведен расчет режимов работы двух основных зон регенератора установки риформинга. Выделено несколько вариантов использования технологического оборудования для проведения процесса регенерации.

**В заключении** приводятся основные научные результаты диссертационной работы.

#### **Новизна результатов проведенного исследования**

Впервые предложен и обоснован подход к повышению эффективности процесса каталитического риформинга на основе новых экспериментальных физико-химических закономерностей для реакций окисления аморфного кокса водой, что обеспечивает увеличение длительности межрегенерационного цикла работы катализатора.

Впервые предложена оптимизация конструкции регенератора установки риформинга с непрерывной регенерацией. Установлено, что размер зон выжигания кокса и оксихлорирования в регенераторе, имеет прямую зависимость от массы кокса накопленного на катализаторе.

#### **Теоретическая и практическая значимость диссертации и использование полученных результатов**

Исследование вносит вклад в изучение химических процессов, протекающих в контуре реактор-регенератор, находящих широкое применение в промышленности.

Результаты исследования могут быть использованы в работе промышленных установок каталитического риформинга на нефтеперерабатывающем заводе г. Кириши, а также на ряде крупных НПЗ России, имеющих в своем составе установки каталитического риформинга. Соблюдение представленных в работе рекомендаций позволит повысить эффективность работы установок вследствие увеличения длительности межрегенерационных циклов работы катализатора и сокращения сроков его регенерации.

**Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации** состояло в планировании эксперимента, проведении экспериментальных исследований процесса каталитического риформинга, проведении исследовательских и оптимизационных расчетов на разработанной математической модели процесса и их теоретическом обосновании, формулировке основных положений диссертационной работы, обосновании условий и методологии исследования, обработке, анализе и обобщении результатов, формулировке научных положений, написании научных статей, подготовке и представлении научных докладов на конференциях. Результаты исследований получены лично Кокшаровым А.Г. и при его непосредственном участии, являются оригинальными.

#### **Степень достоверности результатов проведенного исследования**

Оценка степени достоверности научных результатов опирается на представительность и достоверность данных, корректность методик исследования и проведенных расчетов, выполненных в диссертации.

#### **Ценность научных работ соискателя, полнота изложения материалов диссертации в опубликованных работах**

По теме диссертации опубликовано 11 работ, в том числе 6 статей в журналах из списка ВАК, 2 статьи в изданиях, индексируемых базами Scopus, Web of Science, получены свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

#### **Замечания по диссертационной работе:**

1. Имеется несогласованное содержание хлора на отработанном катализаторе представленное в таблице 11 и на странице 135.
2. Необходимо уточнить, какие рекомендации соблюдаются в процессе пусковых операций по использованию расчетного водно-хлоридного баланса катализатора?
3. В работе имеет место неполное представление катализаторов на объектах исследования. Из текста диссертации непонятна марка использованного катализатора на установке Л-35-11/600, в связи с этим возникает вопрос: почему в качестве рекомендаций используется методика компании Axens. Отсутствует

информация о содержании модифицирующего компонента Sn (табл.11) для катализатора марки R-264.

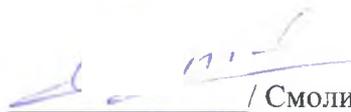
4. Как учитывались поправки на температуру и давление в сепараторах для расчетов концентрации хлора в катализаторе и воднохлоридного баланса, представленных на страницах 80-85?
5. Подача парового конденсата (воды) приведена в размерности л/ч, при таком представлении нет связи с загрузкой по сырью, которая, как правило, изменяется в течение рабочего цикла. Более удобное представление подачи конденсата в виде ppm, (мас).
6. При расчете стадии окислительного хлорирования содержание хлора в отработанном катализаторе принято равным 0,95 мас.% (стр.135). Проводилась ли экспериментальная проверка фактического содержания галоида в отработанном катализаторе и в катализаторе после стадии выжигания кокса, который направляется в зону оксихлорирования?
7. В тексте диссертации в небольшом количестве имеются опечатки и описки.

По моему мнению, диссертация Кокшарова Антона Георгиевича на тему «Повышение эффективности технологии риформинга бензинов путем снижения интенсивности процесса коксообразования с использованием математической модели» по актуальности, новизне, практической значимости, объему экспериментальных данных, в том числе полученных с использованием математической модели, качеству опубликованных работ соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 2.6.12 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ и полностью отвечает требованиям п.2.1 «Порядка присуждения учёных степеней», утверждённого приказом ректора Национального исследовательского Томского политехнического университета № 362-1/од от 28 декабря 2021 г., а квалификация соискателя является достаточной для присвоения ученой степени кандидата химических наук по специальности 2.6.12 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Даю согласие на обработку своих персональных данных.

Официальный оппонент,  
д.х.н., ведущий научный сотрудник отдела каталитических процессов Центра новых химических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Институт

катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения  
Российской академии наук» (Омский филиал)  
дата: 2 июня 2023 г.

  
/ Смоликов М.Д./

644040, г. Омск, пр. Нефтезаводская, д. 54, Центр новых  
химических технологий Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки «Федеральный  
исследовательский центр «Институт катализа им. Г.К.  
Борескова Сибирского отделения Российской академии  
наук» (Омский филиал)  
e-mail: smolikov@ihcp.ru  
тел. +7 5

Подпись М.Д. Смоликова заверяю  
Уч. секретарь Центра новых химических технологий ЦК СО  
РАН, к.х.н.

  
/Сырьева А.В./