

## ОТЗЫВ

дополнительного члена диссертационного совета ДС.ТПУ.23 Стрижака Павла Александровича на диссертацию 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.

Технологии каталитического риформинга бензинов относятся к числу наиболее перспективных с учетом эффективности и возможности реализации на объектах различной производительности. Эффективность соответствующих технологий пока недостаточно высокая. Важно оптимизировать работу с соответствующими катализаторами. В этом направлении сформировалась совокупность интересных научно-технических решений, доминирующая доля которых предложена сотрудниками Национального исследовательского Томского политехнического университета. Можно сделать обоснованный вывод о том, что университет становится мировым лидером в этом направлении. Автор диссертации сосредоточился на разработке математического описания процессов горения кокса и оксихлорирования Pt-Sn и Pt-Re катализаторов риформинга. Сформулированы предложения по техническим решениям в направлении модернизации реакторного блока установки риформинга с движущимся слоем катализатора в части реконструкции технологического контура для осуществления окислительной регенерации и оксихлорирования. Автор диссертации развивает решения известной научной группы, сформированной в Национальном исследовательском Томском политехническом университете. Применяются передовые методики с генерацией новых фундаментальных и прикладных знаний. Можно сделать вывод о том, что **тема диссертационной работы А.Г. Кокшарова,**

**целью которой** является повышение эффективности технологии риформинга со стационарным и движущимся слоем катализатора за счет снижения коксообразования на поверхности гетерогенных катализаторов путем непрерывной подачи воды и хлороводорода в реакторы и оптимизация конструкции и режима работы вспомогательного оборудования процесса регенерации на основе установленных физико-химических закономерностей превращения кокса, безусловно, **актуальна**. Задачи диссертационной работы сформулированы с учетом актуальной информации о современном состоянии исследований, достижений мировых лидеров, ниши коллектива сотрудников ТПУ.

Диссертация А.Г. Кокшарова состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 111 использованных источников. Всего 163 страницы, в том числе 31 рисунок и 30 таблиц.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель, определены задачи исследований, выделены защищаемые положения, описаны научная новизна и практическая значимость, отмечен личный вклад диссертанта и благодарности коллегам, освещены вопросы апробации результатов исследований на конференциях.

**В первой главе** проанализировано современное состояние экспериментальных исследований в выбранной тематике. Представлен обзор литературы, отражающий состояние мировой практики использования катализаторов процесса риформинга. Выделены нерешенные перспективные задачи в направлении исследований.

**Во второй главе** описаны характеристики объекта исследований. Выделены ключевые закономерности для данных характеристик.

**В третьей главе** определены характеристики динамических режимов подачи воды на ресурсоэффективность процесса риформинга. Представлены уникальные методики расчета интегральных характеристик процесса риформинга.

**В четвертой главе** описаны физико-химические закономерности процесса регенерации в реакторах со стационарным и движущимся слоем катализатора. Представлены результаты вычислений ключевых характеристик совокупности взаимосвязанных физико-химических процессов с учетом замены катализатора.

**В заключении** сформулированы основные выводы и выделены ключевые результаты диссертационных исследований.

Содержание **автореферата** соответствует рукописи **диссертации**.

**Научная новизна** диссертационной работы состоит в обосновании научных положений, демонстрирующих, что регулирование скоростей реакций окисления и гидрирования позволяет замедлить дезактивацию катализаторов, увеличить длительность сырьевого цикла, снизить кратность циркуляции катализатора в условиях сбалансированности кислотной и металлической активности. Показано, что размеры зоны оксихлорирования в регенераторе, обеспечивающие полное восстановление дисперсности активной поверхности катализатора, напрямую зависят от количества накопленного кокса. Установлено, что скорость подачи воздуха в реакционную зону при выжиге определяется концентрацией и углеродным числом кокса (отношение углерод/водород).

**Практическая ценность** диссертационной работы заключается в разработке методики сохранения оптимального водно-хлорного баланса в процессе каталитического риформинга с учетом реакции окисления аморфного кокса. Внедрение методики на производстве обеспечило возможность обработки экспериментальных данных с действующих установок каталитического риформинга и выдачи практически значимых рекомендаций по оптимизации параметров технологического режима процесса (температура, расход воды, концентрация хлорорганического соединения на катализаторе) для обеспечения оптимального водно-хлорного баланса. Разработанные математические модели используются в учебном процессе студентами и аспирантами Национального исследовательского Томского политехнического университета и Павлодарского

государственного университета имени С. Торайгырова. На основе данных моделей разработан тренажер для операторов технологических установок риформинга ООО «КИНЕФ» и АО «Газпромнефть – ОНПЗ».

**Теоретическая значимость** результатов диссертационной работы состоит в определении необходимых условий протекания процессов восстановления активности дезактивированных алюмоплатиновых катализаторов риформинга, установлении и обосновании оптимальных технологических условий проведения процесса по подаче воды и хлорорганических соединений в реакционную зону с применением математического моделирования и оптимизации аппаратного оформления контура регенерации.

**Достоверность результатов** подтверждается сравнением с данными других авторов по тестовым задачам, применением современных методов научного исследования, многократным повторением экспериментов, обработкой их результатов с применением совокупности различных методов, получением удовлетворительной корреляции результатов в серии измерений.

**Личный вклад автора** диссертации состоит в определении термодинамических параметров реакций окисления кокса водой, а также реакций, протекающих в процессе регенерации Pt-катализаторов риформинга, с применением математических моделей процессов каталитического риформинга бензинов в реакторах со стационарным и движущимся слоем катализатора. Автором сформулированы выносимые на защиту положения, заключения и выводы по диссертационной работе.

По теме диссертации автором **опубликованы 6 статей** в рецензируемых журналах, индексируемых РИНЦ и Scopus. Имеются труды по результатам конференций, опубликованные в изданиях, индексируемых базами РИНЦ и Scopus. Результаты экспериментальных исследований обсуждались **на всероссийских и международных конференциях**, перечисленных в

автореферате и рукописи диссертации. Выполнена удовлетворительная апробация результатов исследований в отечественном и мировом научном сообществе.

Важно отметить поддержку диссертационных исследований со стороны научных фондов и программ. В диссертации и автореферате указаны проекты и программы, в рамках которых выполнялись основные этапы работы.

Анализ содержания диссертации и автореферата А.Г. Кокшарова позволил сформулировать определенные **комментарии, замечания и рекомендации:**

1. После прочтения введения диссертации формируется представление о существенно ограниченной проблематике, развиваемой в диссертационной работе. Она лимитируется определенными отечественными компаниями и научными коллективами. Далее в тексте диссертации область потенциального применения результатов исследований не раскрывается. Поэтому остается открытым вопрос о потенциале использования результатов исследований в мировой индустрии.
2. Защищаемые положения целесообразно детализировать, т.е. раскрыть непосредственно защищаемые эффекты, факторы, зависимости, закономерности с конкретизацией условий, которым они соответствуют. При общих формулировках сложно выделить конкретный защищаемый диссертантом результат.
3. В диссертации обсуждаются вопросы оптимизации и повышения эффективности технологии риформинга. Требуется пояснить критерии оптимизации и эффективности, имеющиеся технологические ограничения и сдерживающие факторы. Без этих пояснений непонятна область выборки условий.
4. В разделах 2.3-2.5 целесообразно привести результаты сравнительного анализа известных методов, которые потенциально можно применить для решения задач диссертации, пояснить критерии выбора для обоснования

рациональности дальнейшего применения моделей. Критерии выбора, описание преимуществ и недостатков не представлены.

5. В диссертационной работе приводятся результаты расчетов с применением определенной совокупности входных данных в виде свойств и констант. Не указаны ссылки на первоисточники при указании этих свойств и констант.
6. В четвертой главе приводятся результаты расчетов, которые выполнены с предположениями о совокупности реакций, фазовых превращений и тепловых процессов. Для данных реакций, превращений и процессов не обозначены условия протекания по температуре и давлению. Их нужно описать с использованием обосновывающих ссылок. В таком случае можно определить общность сформулированных постановок задач или локальные условия для их решения.
7. Наибольший интерес представляет раздел диссертационной работы, в котором приведены данные по оптимизации технологических условий проведения процесса по подаче воды и хлорорганических соединений в реакционную зону с применением математического моделирования и оптимизации аппаратного оформления контура регенерации. Такие комплексные задачи решаются с описанием совокупности требуемых или планируемых технологических индикаторов, а также лимитирующих входных условий. Последние определяют, на какой класс установок и диапазоны по их производительности можно перенести результаты диссертационной работы. Целесообразно привести соответствующие пояснения для понимания области применения результатов исследований.

Сформулированные замечания **не снижают общей положительной оценки диссертационной работы А.Г. Кокшарова.**

Диссертационная работа А.Г. Кокшарова на тему «Повышение эффективности технологии риформинга бензинов путем снижения интенсивности процесса коксообразования с использованием математической модели»

удовлетворяет требованиям, установленным п.п. 2.1–2.2 Порядка присуждения ученых степеней в Томском политехническом университете (Приказ №362-1/од от 28.12.2021) и является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение в области химических топливных технологий, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности «2.6.12 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ».

Дополнительный член диссертационного совета ДС.ТПУ.23,  
профессор НОЦ И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики,  
заведующий лабораторией тепломассопереноса  
Национального исследовательского  
Томского политехнического университета,  
доктор физико-математических наук, профессор  
(01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника)  
Стрижак Павел Александрович

Подпись П.А. Стрижака заверяю  
Ученый секретарь Национального  
исследовательского Томского  
политехнического университета,  
кандидат технических наук  
Кулинич Екатерина Александровна

Почтовый адрес: 634034, г. Томск, ул. Усова, 7, учебный корпус № 8, ауд. 263  
Электронный адрес: pavelspa@tpu.ru  
Тел. +7 (3822) 606-102, 701-777, вн. 1910

Я, Стрижак Павел Александрович, согласен на обработку моих персональных данных и их использование в документах, связанных с защитой диссертационной работы Кокшарова Антона Георгиевича.

10 мая 2023 г.