

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Воробьевой Екатерины Евгеньевны
«Разработка композитных CoMoNi-катализаторов на основе оксида алюминия с иерархической структурой пор для процессов гидропереработки высококипящих фракций углеводородного сырья», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.14. Кинетика и катализ

Диссертационная работа Воробьевой Е.Е. направлена на разработку композитных CoMoNi-катализаторов на основе оксида алюминия с иерархической структурой пор для процессов гидропереработки остатка вакуумной перегонки нефти (гудрона), нефтяной спекающей добавки и фракции пиролизного масла, полученного из полимерных отходов. **Актуальность** исследования подтверждается как большим количеством опубликованных за последнее десятилетие научных работ по данному направлению, так и ужесточением экологических требований и необходимостью вовлечения альтернативных источников углеводородов в гидропереработку с получением продуктов с улучшенными свойствами.

Структура и объем диссертационной работы

Представленная автором диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК РФ. Структура и объем диссертации соответствует требованиям, предъявляемым к квалификационным работам, представляемым на соискание степени кандидата химических наук. Рассматриваемая диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, выводов, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы. Работа изложена на 153 страницах, содержит 94 рисунка, 32 таблицы, 8 приложений и 227 библиографических ссылок.

Во **введении** изложено обоснование актуальности исследования, на основе которого определены цель и задачи работы. Также представлены ключевые положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

В **первой главе** представлен анализ значимости высококипящих углеводородов в современной промышленности, и показана целесообразность их гидропереработки с целью создания экологичных аналогов или продуктов с повышенной стоимостью. Дана характеристика различным видам высококипящих углеводородов, таким как нефтяные остатки, спекающие добавки и пиролизное масло, полученное из полимерных отходов. В рамках анализа литературы рассмотрены ключевые реакции превращения углеводородов, их механизмы, а также используемые каталитические системы и носители. В

заключительной части освещаются проблемы дезактивации катализаторов при работе с высококипящими углеводородами, способы модификации их пористой текстуры для повышения устойчивости и сделаны выводы, подтверждающие актуальность дальнейших исследований.

В **Главе 2** представлено детализированное описание методик получения носителей и катализаторов, включая перечень использованных химических соединений и исходных веществ. В ней представлены схемы экспериментальных установок и совокупность методов физико-химического анализа, направленных на изучение свойств как самих катализаторов, так и сырья и продуктов гидропереработки.

Основная часть состоит из трех глав. **Глава 3** посвящена исследованию формирования иерархической структуры пор носителей при применении различных темплатов. В работе изучены ключевые аспекты формирования поровой структуры алюмооксидных материалов при использовании темплатного подхода. Исследовано влияние фазового состава и морфологии частиц предшественников на конечные характеристики материала.

В **Главе 4** обсуждается синтез и свойства композитных CoMoNi-катализаторов, в частности, влияние добавок на активность и стабильность катализаторов. Показано, что введение добавок в состав носителя способно оказывать влияние на пористую структуру, формируя дополнительную макропористость. Установлено, что для введения добавок, содержащих кислотные центры, необходимо разрабатывать структуру пор, способствующую эффективному массопереносу.

Глава 5 посвящена апробации разработанных носителей катализаторов. Алюмооксидные, в том числе композитные, носители испытаны в составе CoMoNi-катализаторов в процессе гидропереработки гудрона, нефтяной спекающей добавки и фракции пиролизного масла, полученного из полимерных отходов. Показано, что улучшенные текстурные свойства получаемых материалов, а именно, достаточная доля макропор в общем объеме пор, а также связанность пор между собой, повышают устойчивость катализаторов к дезактивации коксованием.

В заключительной части работы представлены основные результаты и выводы, представлен список основных сокращений и приведен список литературы.

Научная новизна

В ходе работы предложена методика приготовления и сформулированы закономерности формирования связанной мультимодальной пористой структуры алюмооксидных носителей, в том числе композитных с кислотным компонентом, из однофазного материала и смеси фаз предшественника оксида алюминия, имеющих игольчатую и псевдосферическую морфологию частиц соответственно и темплата из полимерных микросфер (полистирол, полиакрилат).

Впервые показаны особенности применения природных галлуазитных нанотрубок в качестве компонента композитного CoMoNi-катализатора и выявлены причины его дезактивации.

Впервые продемонстрированы текстурные отличия композитных алюмооксидных носителей, содержащих SAPO-5 и SAPO-11, в части структуры крупных пор. Показано, что увеличение доли крупных мезопор CoMoNi-катализатора, содержащего SAPO-11, в результате использования полиакрилатного темплата позволяет повысить стабильность катализаторов к дезактивации коксованием.

Впервые проведены ресурсные испытания разработанных темплатных алюмооксидных CoMoNi-катализаторов в гидрооблагораживании гудрона и получен продукт с высокой добавленной стоимостью.

Впервые предложен эффективный способ каталитической гидроочистки нефтяной спекающей добавки, позволяющий сохранить спекающие свойства продукта.

Впервые предложен и исследован процесс каталитической гидропереработки средней фракции пиролизного масла из пластиковых (смесь полиэтилена и полипропилена) отходов для получения углеводородов с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Теоретическая и практическая значимость работы

В результате выполнения работы сформулированы основные закономерности получения алюмооксидных, в том числе композитных, катализаторов со связанной системой макропор и высокой прочностью. Предложенные на базе сформулированных закономерностей методы приготовления алюмооксидных, в том числе композитных, катализаторов использованы для наработки партии катализаторов для пилотных испытаний на пилотной установке гидропереработки гудрона проточного типа, сконструированной ООО «ИХТЦ» (г. Томск) по заказу ПАО «Газпром нефть».

По предложенной методике наработаны и испытаны катализаторы в процессах гидроочистки нефтяной спекающей добавки по заказу ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат (НЛМК)», а также фракции пиролизного масла – продукта пиролиза пластиковых отходов по заказу ООО «Ониум +» (г. Москва).

По теме диссертации опубликовано 5 работ в рецензируемых российских и зарубежных научных журналах, индексируемых в международных базах данных WOS и Scopus и рекомендованных ВАК, 1 патент РФ, а также 5 тезисов.

Опубликованные работы и автореферат Воробьевой Е.Е. правильно и полно отражают основное содержание диссертации.

При прочтении диссертационной работы возник **ряд вопросов и замечаний**:

1. В Главе 3 автором используется формулировка «на кривых распределения пор по размерам отсутствует пик, соответствующий размеру пор 250 нм, что связано с особенностями метода ртутной порометрии», какие особенности ртутной порометрии имеются ввиду?
2. Известно, что для катализаторов гидроочистки в качестве предшественников оксида алюминия используются бемиты и псевдобемиты. В диссертации одним из предшественников Al_2O_3 выступает смесь байерита с псевдобемитом, по каким причинам был выбран именно такой предшественник?
3. Насколько воспроизводим разработанный темплатный метод в условиях промышленного синтеза? Какие технические сложности могут возникнуть при масштабировании, особенно при использовании полимерных микросфер?
4. В работе показано, что Катализатор №1 высокоэффективен в процессе гидродеметаллизации. Каково максимальное содержание V+Ni должно быть в сырье, при котором его активность будет сохраняться? Что происходит, когда этот предел будет достигнут?

Сделанные замечания имеют частный характер, не затрагивают основных выводов и не снижают научной ценности диссертационной работы Воробьевой Е.Е., которая выполнена на высоком методическом уровне с применением современных физико-химических методов исследования. Выводы являются обоснованными и сделаны на основании большего объема экспериментальных данных, что подтверждает их достоверность. Диссертационная работа Воробьевой Е.Е. «Разработка композитных CoMoNi-катализаторов на основе оксида алюминия с иерархической структурой пор для процессов гидропереработки высококипящих фракций углеводородного сырья» является

законченным исследованием, которое по объему экспериментальных данных, научной новизне и практической значимости соответствует всем требованиям ВАК РФ, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.14. Кинетика и катализ.

Я, Вахин Алексей Владимирович, согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета 24.1.222.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Федеральный исследовательский центр» Институт катализа им. Г.К. Борескова» и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

Вахин Алексей Владимирович, доктор технических наук по специальностям 2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений, 1.4.12. Нефтехимия, главный научный сотрудник НИЛ «Внутрипластовое горение» Института геологии и нефтегазовых технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

Электронная почта: vahin-a_v@mail.ru

Адрес: 420008, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлевская, д.18, корп.1.

Телефон: +7 9870010781

13.01.2026 г.

/ ____ / Вахин Алексей Владимирович

Я, Вахин Алексей Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и дальнейшую их обработку.

}. заверяю,