

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу
Иванова Алексея Владимировича «Физико-химические основы
применения ферритов в процессах магнитно-адсорбционной и
озонолитической очистки воды», представленную на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.4.4 – физическая химия

Актуальность темы диссертации.

Диссертационная работа Иванова А.В. посвящена развитию адсорбционных и окислительных подходов к очистке воды с использованием материалов на основе ферритов. Примечательно, что автор применяет магнитные свойства ферритов, на примере магнетита, для придания коммерческим углеродным адсорбентам магнитных свойств и каталитические свойства, на примере феррита цинка, для повышения эффективности озонлиза органических соединений в водной среде. Экспериментально полученные автором закономерности изменения пористой структуры и адсорбционной способности при нанесении магнитной составляющей на активированные угли и оцененные кинетические параметры каталитического озонлиза необходимы для дальнейшего применения развиваемых материалов технологиях очистки воды, что делает тему работы, несомненно, актуальной.

В работе рассматривается применение феррита цинка как катализатора озонлиза органических загрязнителей, содержащихся в оборотной воде коксохимического производства, что обеспечивает работе практическую значимость.

Объем работы и публикаций по ней

Диссертационная работа изложена на 134 страницах машинописного текста, содержит 38 рисунков и 10 таблиц, состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 115 наименований.

По теме диссертации Ивановым А.В. опубликовано 10 научных работ, которые полностью отражают основное содержание диссертации, в том числе 4 статьи в российских и международных журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, и 6 тезисов докладов.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

В диссертации на защиту вынесено три положения.

1. Адаптированные способы получения магнитного адсорбента и катализатора, основанные на процессе термического разложения оксалатов, в том числе в присутствии углеродной матрицы.

Результаты, резюмируемые первым защищаемым положением, приведены в главах 2 и 3 диссертации. Автор успешно использовал метод разложения оксалатов для нанесения магнетита на активированный уголь и для получения феррита цинка. В первом случае методика, предложенная научными руководителями, была усовершенствована: добавлена стадия фильтрования продукта перед сушкой. Впервые исследована пористая структура полученных образцов магнитного активированного угля (первое предложение «научной новизны») и установлено снижение удельной площади поверхности для БАУ-А с $576 \text{ м}^2/\text{г}$ до $426 \text{ м}^2/\text{г}$, а для АГ-3 – с $621 \text{ м}^2/\text{г}$ до $370 \text{ м}^2/\text{г}$, при этом суммарный объем пор меняется незначительно. Показано, что изотермы адсорбции магнитных активированных углей на основе БАУ-А по отношению к фенолу и нитробензолу описываются уравнением Дубинина-Радushкевича. В результате нанесения магнетита методом разложения оксалата железа (II) адсорбционные характеристики меняются незначительно: предельные адсорбции фенола и нитробензола снижаются на 19% и 52% соответственно, для фенола не происходит изменения энергии насыщения, а для нитробензола она снижается на 32% (вывод 1). Уточнены методики синтеза феррита цинка с использованием гидротермального и оксалатного подходов. В результате характеристики продуктов комплексом физико-химических методов (рентгенофазовый анализ, ИК-спектроскопия, низкотемпературная адсорбция азота) показано, что в обоих случаях продукт имеет примеси оксидов цинка и железа, обладает развитой дефектной поверхностью (вывод 2).

Достоверность 1-го положения, выносимого на защиту, подтверждается применением известных и апробированных методик синтеза объектов исследования, применением стандартизированных и хорошо зарекомендовавших себя экспериментальных методов исследования высокопористых материалов и гетерогенных катализаторов.

2. Каталитическая активность феррита цинка, полученного оксалатным способом, превышает активность феррита цинка, полученного

гидротермальным методом.

Результаты, на которые опирается 2-е положение, вынесенное на защиту, описаны в главе 3. Экспериментальные исследования каталитической активности феррита цинка выполнены в условиях барботирования озона через раствор фенола и обратную «фенольную» воду коксохимического производства. Автором впервые применен феррит цинка оксалатного синтеза (2-е и 3-е предложения научной новизны) При низкой интенсивности озонирования наличие катализатора приводит к образованию продуктов более глубокого окисления, при высокой – становится выраженным увеличение скорости окисления фенола (вывод 3). Показано, что концентрация общих фенолов, определяемая фотометрической реакцией с 4-аминоантипирином, монотонно уменьшается в процессе озонирования. Начальные скорости окисления при производительности озонатора 2.5 гО₃/час составляют 0.059 г/(л•мин) без катализатора, в присутствии феррита цинка гидротермального 0.117 г/(л•мин) и оксалатного синтеза 0.140 г/(л•мин). Добавление 0.1 г катализатора оксалатного синтеза приводит к увеличению скорости более чем в 2 раза, причем активность феррита цинка, полученного оксалатным способом, превышает активность, полученного гидротермальным методом в 1.5 раза при сравнении начальных скоростей реакции для стандартного раствора фенола и 3 раза для обратной воды коксохимического производства (вывод 4).

Достоверность 2-го положения, выносимого на защиту, обосновывается использованием известных методик исследования кинетических закономерностей озонлиза органических соединений.

3. Закономерности озонлиза стандартного раствора фенола и обратной воды коксохимического производства, эффективные константы скорости некаталитической реакции и в присутствии феррита цинка.

Результаты, сформулированные в 3-м положении, вынесенном на защиту, рассмотрены в 3-й (экспериментальные данные) и 4-й (обработка и интерпретация) главах диссертации. Автором проанализированы полученные спектрально-кинетические зависимости и выполнено их разложение с выделением спектров поглощения компонентов. Оценены эффективные константы скорости превращения фенола в гаммы промежуточных продуктов и этой гаммы в конечные продукты. Эффективные константы первого порядка первой стадии озонлиза составили для некаталитического процесса (0.17 мин⁻¹), в присутствии феррита цинка гидротермального (0.33 мин⁻¹) и

оксалатного (0.46 мин^{-1}) синтеза соответственно (вывод 5). Предложена интерпретация спектральных изменений как накопление бенздиолов, хинонов и муконовой кислоты как промежуточных продуктов, в качестве основного конечного продукта предполагается щавелевая кислота. Предложена макрокинетическая модель процесса с оценкой константы скорости массообмена при барботировании озона, дающая при сравнении с экспериментом разумную величину радиуса пузырька (вывод 6). На основе анализа типичного состава оборотной «фенольной» воды предложено объяснение более высокой скорости озонолитической деструкции содержащегося в ней фенола, и менее выраженного каталитического действия феррита цинка, по сравнению с кинетическими параметрами озонолиза фенола в стандартном растворе. Различия объясняются автором буферными свойствами системы и присутствием ингибиторов радикальных реакций в оборотной воде (вывод 7).

Достоверность 3-го положения, выносимого на защиту, обосновывается применением к обработке спектрально-кинетических зависимостей озонолиза фенола известных методов УФ-вид спектроскопии сложных систем и подходов макрокинетики химических реакций.

Замечания и вопросы по работе:

1. Автор не объясняет почему нанесение магнетита приводит к изменению для нитробензола как предельной адсорбции, так и энергии насыщения, тогда как для фенола уменьшается только предельная адсорбция.

2. В работе замечена методическая нестыковка: при определении концентрации фенола в случае его адсорбции автор использует УФ-вид спектроскопию непосредственно соединения, а в случае озонолиза – фотометрическую реакцию, позволяющую повысить предел обнаружения.

3. В тексте обнаружены следующие опечатки: стр. 5 «пентандионат железа», стр. 66 «Рисунок 25 обозначен как 28», стр. 77 «ферита».

Перечисленные замечания имеют частный характер, не затрагивают защищаемых положений и не снижают в целом высокой оценки диссертации. Диссертационная работа Иванова А.В. представляет собой законченное исследование в области физической химии, выполненное на высоком научно-методическом уровне.

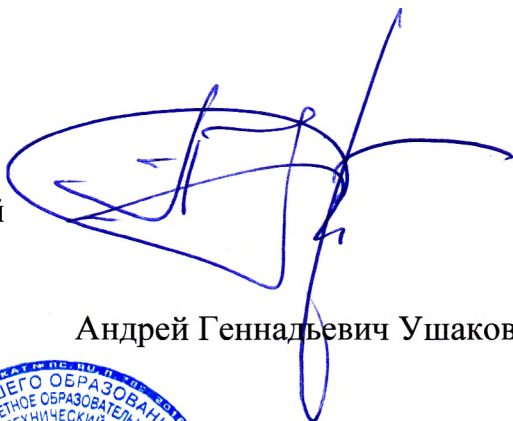
Результаты работы развивают основы нового перспективного научного направления: исследование механизмов инициирования разветвленных твер-

дофазных цепных реакций в энергетических материалах. Представленные в диссертации экспериментальные данные получены впервые, их достоверность и новизна не вызывают сомнений. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

В связи с изложенным, считаю, что диссертация Иванова А.В. отвечает требованиям к работам, представленным на соискание ученой степени кандидата наук, в части пп. 9, 10, 11, 13 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 (в действующей редакции), а ее автор несомненно достоин присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.4.4 - физическая химия.

08 июня 2026 года.

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры химической технологии
твердого топлива ФГБОУ ВО
«Кузбасский государственный технический
университет имени Т.Ф. Горбачева»



Андрей Геннадьевич Ушаков



А.Г. Ушакова
ЗАВЕРЯЮ
Начальник отдела управления делами
О.В. Савкина
10.06.2026 г.

Сведения:

Полное наименование организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева».

Адрес: 650000, Кемеровская область – Кузбасс, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28.

Телефон: +7 (3842) 39-63-08, сот. 8-923-618-04-41