

ОТЗЫВ официального оппонента на диссертацию

Хлюстовой Анны Владимировны

на тему: «Влияние процессов переноса нейтральных и заряженных частиц на физико-химические свойства системы плазма-раствор» представленную на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.4 Физическая химия

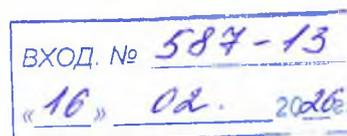
Удаление органических и неорганических загрязнений, стерилизация, модифицирование природных и синтетических полимеров для улучшения или придания новых свойств, полировка и модификация поверхности металлических изделий, синтез новых наноструктур в жидкой фазе является перечнем основных задач, при решении которых системы плазма-раствор показали высокую эффективность. При этом различные конфигурации/комбинации электрический разряд в контакте с жидкостью позволяют получить широкий набор экспериментальных результатов, приведенных в опубликованной литературе. При этом, встречающиеся в литературе попытки описать такие системы как единую являются достаточно малочисленными.

Очевидно, что использование различных комбинаций электрический разряд-раствор в технологических процессах настоящего времени требует детальных теоретических и экспериментальных исследований физико-химических процессов, как в жидкой фазе, так и в зоне разряда. До настоящего времени изучение таких процессов носило разрозненный характер: исследовались либо только физико-химические процессы в жидкой фазе, либо процессы в зоне плазмы, поэтому тема диссертационной работы Хлюстовой Анны Владимировны, несомненно, является актуальной.

В данной работе впервые уделено внимание установлению обратной связи в системе электрический разряд-раствор, заключающейся в наличие массопереноса из раствора в плазму и из зоны плазмы в раствор. Это определяет новизну представленной работы. Впервые определены кинетические характеристики переноса и предложен механизм массопереноса при разных режимах горения, показано, что эти процессы существенно влияют на синтез наноструктур.

Следует отметить, что выявленные автором закономерности протекания физических и химических процессов в жидкости и газовой фазе в разных режимах горения и для разных разрядных систем придают практическую значимость представленной работы. Несомненной заслугой работы следует признать исследования применимости на реальных объектах.

В представленной работе Хлюстовой А.В. успешно применяется ряд методик: эксперимент, анализ, сравнение, обобщение позволили выявить закономерности массопереноса и установить механизмы переноса при разных режимах горения разряда. Математическое моделирование позволило оценить химический состав газовой фазы в зоне плазмы с учетом наличия процессов



переноса. Проведены физико-химические исследования растворов при действии подводного и надводного разрядов (изменение кислотности, электропроводности, вязкости, концентрации активных частиц, среди которых, атомы, радикалы, пероксид водорода, нитрит-, нитрат-ионы). Все это позволило автору диссертационной работы получить достаточно достоверную и непротиворечивую информацию о процессах, протекающих в жидкой и газовой фазах.

Работа имеет стандартную структуру и содержит введение, семь глав, выводы и список использованной литературы. Материал представлен на 345 стр., содержит 47 таблиц, 161 рисунок и включает 523 источника.

Литературный обзор представляет достаточно подробную систематизацию способов возбуждения электрических разрядов в контакте с жидкостью. Приведен анализ характеристик электрических разрядов (плотность тока, приэлектродные падения потенциала, концентрация электронов, эмиссионные характеристики, температура газа в плазме) и методов их оценок. Дан обзор практических применений плазменно-растворных систем. Сформулированы цели и задачи исследования.

Тем не менее, по литературному обзору имеется ряд замечаний. В обзоре автор приводит опубликованные данные об оценках коэффициентов эмиссии электронов. Вызывает сомнение, что при энергии ионов 400 эВ коэффициент гамма эмиссии достигает 0.1 (стр. 16-17). Можно было бы добавить критический комментарий. В практическом применении электрических разрядов в контакте с жидкостью отсутствует информация о применении электрического разряда для полировки и обработки поверхности металлических покрытий. Эти сведения существенно расширяют область применения плазменно-растворных систем.

В разделе 2 представлены описание методик и материалов исследований. При описании экспериментальных установок не указаны измерительные приборы, которые использовались в схеме тлеющего разряда. Далее, не приведена информация о марке графитовых строжней и металлических проволок, используемых в качестве электродов.

Глава 3, посвящена подробному описанию методик определения химически активных частиц. Короткоживущие частицы (атомы радикалы) определялись методом химической дозиметрии. Как справедливо отмечено автором, этот метод имеет ограничения, связанные с протеканием побочных реакций. Как можно гарантировать, что регистрировалась именно целевая активная частица? Какой вклад дают конкурирующие реакции в количественные оценки скоростей генерации активных частиц?

В разделе 4 представлены обширные экспериментальные результаты исследования процессов переноса, на основании которых предложены модели переноса растворенного вещества из раствора в зону плазмы. Представленные в этом разделе экспериментальные данные не вызывают сомнений, а использованные объяснения вполне логичны. Хотелось бы уточнить следующий момент: автор использует термин «неравновесное испарение». Что именно в этом процессе

является «неравновесным»? является ли это только термическим эффектом (локальный перегрев), или ключевую роль играет бомбардировка поверхности заряженными частицами?

Глава 5 представляет результаты численного моделирования состава газовой фазы. Модель впервые включает наличие в газовой фазе не только молекул, атомов и радикалов плазмообразующего газа, но и частиц растворенного вещества, перенесенных из раствора в ходе горения разряда. Впервые представлена попытка рассчитать изменение концентрации частиц во времени, а не стационарные концентрации в 0-мерной модели. Для жидкой фазы представлена модель накопления пероксида водорода, хорошо согласующаяся с экспериментальными данными и расчеты скорости генерации и энергетических выходов короткоживущих активных частиц; представлены непротиворечивые объяснения изменения кислотности растворов хлоридов металлов.

В разделе 6 представлены физические свойства подводного и надводного разрядов. Представлено подробное описание режимов горения подводного разряда и представлена математическая модель. Критически рассмотрена система тлеющего разряда с жидким катодом/анодом, выполнены оценки размеров катодной области. При рассмотрении возможных механизмов эмиссии электронов критически рассмотрены ранее представленные модели. Приведены оценки параметров плазмы, однако, при интерпретации спектров излучения диафрагменного разряда нет объяснения регистрируемого «гало». На рис. 6.28 не указаны линии атомов меди (324 и 327 нм) и кислорода при 777 нм. В подписях к рис. 6.28 не указан материал электродов. В подразделе 6.3 рассмотрены каналы расходования вложенной энергии в системах тлеющего и диафрагменного разрядов. Для тлеющего разряда не указана, какая доля мощности расходуется непосредственно на массоперенос, а какая на протекание химических реакций.

Глава 7 посвящена применимости плазменно-растворных систем. Рассмотрены такие процессы как синтез наноструктур в газовой и жидкой фазах, модифицирование поверхности полимерных материалов, включая покрытие и осаждение наноструктур, разрушение органических красителей и синтез гидрокси-производных бензойной кислоты, осаждение ионов тяжелых металлов не только из модельных растворов, но и из реальных сточных вод, процессы стерилизации и разрушение патогенных клеток. Представленные материалы достаточно внушительные, однако имеется замечание: проводились ли оценки ресурсов предложенных конструкций реакторов с диафрагмой в процессах осаждения ионов металлов или при синтезе/разрушении органических соединений?

Высказанные замечания носят частный характер и не влияют на положительную оценку данной работы. Материалы диссертации прошли апробацию на конференциях различного уровня и опубликованы в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК и ведущих международных журналах.

Работа соответствует паспорту специальности 1.4.4 Физическая химия в части п.5 «Изучение физико-химических свойств изолированных молекул и

молекулярных соединений при воздействии на них внешних электромагнитных полей, потока заряженных частиц, а также экстремально высоких/низких температурах и давлениях»; п. 6 «Химические превращения, потоки массы, энергии и энтропии пространственных и временных структур в неравновесных системах»; п. 7 «Макрокинетика, механизмы сложных химических процессов, физико-химическая гидродинамика, растворение и кристаллизация»; п. 8 «Динамика элементарного акта химических реакций. Механизмы реакции с участием активных частиц»; п. 12 «Физико-химические основы процессов химической технологии и синтеза новых материалов».

Диссертация «Влияние процессов переноса нейтральных и заряженных частиц на физико-химические свойства системы плазма-раствор» соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям в соответствии с пунктами 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 в действующей редакции, а ее автор, Хлюстова Анна Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.4 Физическая химия.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук

Профессор кафедры технической физики

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» (ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ»)



/ Гайсин Фивзат Миннебаевич/

02.02.2026 г.

420111, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 10.

+ 7 (843) 231 – 01 - 09

Подпись Гайсина Ф.М.
заверяю. Начальник управления
делами производства и контроля

