

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Антипова Анатолия Евгеньевича  
«Медиаторный редокс-автокатализ восстановления многоэлектронного окислителя для  
водородно-броматных проточных редокс-батарей»,  
представленной на соискание ученой степени доктора химических наук  
по специальности 02.00.05 – Электрохимия

Диссертационная работа, представленная Анатолием Евгеньевичем Антиповым, посвящена исследованию нового типа гибридных систем, функционирующих по принципу проточных редокс-батарей. Исходя из проведенного в рамках работы сравнительного анализа, из всего семейства растворов галогеновых оксокислот наиболее перспективными в качестве многоэлектронных окислителей для катодного процесса электровосстановления представляются водные растворы бромат-анионов (например, броматов лития и натрия), в первую очередь за счет их высокой растворимости в воде.

В работе детально описан комплексный подход для изучения указанных гибридных систем, сочетающий аналитические, численные и экспериментальные методы. Он позволяет установить взаимосвязь между процессами массопереноса реагентов и основными характеристиками катодного процесса восстановления таких окислителей за счет опосредованного или медиаторного редокс-каталитического механизма с автокаталитическим эффектом (ЕС" механизм). ЕС" механизм при определенных режимах массопереноса позволяет достигать высоких значений плотности тока в реакции медиаторного электровосстановления бромат-анионов. Возникновение таких токов обусловлено накоплением очень высоких концентраций компонентов медиаторной системы ( $\text{Br}_2$ ,  $\text{Br}^-$ ) внутри кинетического слоя, что есть прямое следствие автокаталитического характера процесса, тогда как эти концентрации для обычного ЕС' механизма всегда ограничены величиной объемной концентрации предварительно добавленного медиаторного компонента ( $\text{Br}_2$ ).

Следует отметить, что совокупность фундаментальных научных решений и прикладных технологических подходов, задействованных в работе, приводят к высокой ее **актуальности**.

Фундаментальная и прикладная **значимость работы** также подтверждены. В частности, представлена эффективная реализация предлагаемого в работе процесса в высококонцентрированных кислых растворах бромат-анионов (с концентрацией  $\sim$  моль  $\text{л}^{-1}$ ) в присутствии следового количества молекулярного брома как для широкого

круга модельных систем (вращающийся дисковый электрод, микроэлектроды), так и в проточных ячейках. Экспериментально продемонстрированы высокие плотности тока ( $1.5 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$ ) и пиковые мощности ( $0.9 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2}$ ) для изучаемого катодного процесса медиаторного электровосстановления бромат-анионов.

По автореферату имеется ряд замечаний.

1. При функционировании проточных пористых электродов на больших плотностях тока по мере продвижения раствора через электрод концентрация исходных реагентов снижается, а продуктов растет. В результате различные участки такого электрода работают по-разному (в разных режимах). А значит, вдоль линии потока электролита проходящего через проточный пористый электрод меняются граничные условия массопереноса и концентрационные профили реагентов, что затрудняет оптимизацию режима массопереноса для электрода в целом.
2. В процессе функционирования проточного пористого электрода внутри его порового пространства может скапливаться не растворенный бром, который кардинально влияет на вязкость и электропроводность раствора и может приводить к нестабильной работе батареи (пульсациям тока и напряжения).
3. В тексте автореферата автор часто использует длинные предложения, что затрудняет восприятие материала работы.
4. В автореферате термин «медиаторное электровосстановление бромат-анионов» повсеместно подменяется термином «электровосстановление бромат-анионов». Несмотря на очевидное желание автора использовать более лаконичный термин, фактически, писать о «электровосстановлении бромат-анионов» некорректно, поскольку в системе бромат-анионы неэлектроактивны на электроде. Таким образом, использование указанного термина затрудняет восприятие материала работы, а предпочтение следовало отдать именно формулировке «медиаторное электровосстановление бромат-анионов».

Приведенные замечания **не умаляют значимости** настоящей работы и носят **рекомендательный характер**.

По результатам изучения материалов работы можно сделать вывод, что диссертация А.Е.Антипова «Медиаторный редокс-автокатализ восстановления многоэлектронного окислителя для водородно-броматных проточных редокс-батарей» по объему, актуальности и научной значимости полученных результатов **отвечает требованиям** пункта 9 Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 N 842 (ред. от

01.10.2018) "О порядке присуждения ученых степеней", а ее автор – Антипов Анатолий Евгеньевич – **заслуживает** присуждения ему ученой степени **доктора химических наук** по специальности 02.00.05 – Электрохимия.

Д.х.н.,

главный научный сотрудник

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина Российской академии наук.

119071, Россия, г. Москва, Ленинский проспект, 31, корп. 4

Рабочий телефон: 8 (495) 955 4601

Адрес электронной почты: [dir@phyche.ac.ru](mailto:dir@phyche.ac.ru)

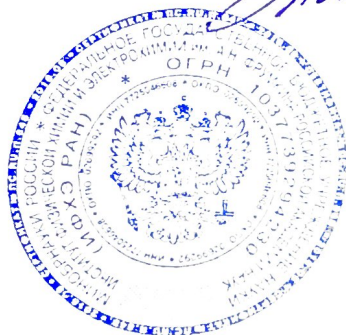
Емец Виктор Владимирович

Подпись В.В. Емца ЗАВЕРЯЮ

Зам. директор Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина, РАН

к.ф.-м.н.

О.В. Батищев



30.10.19