

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Ермаковой Александры Сергеевны  
«Окислительно-восстановительная модификация высокопористых углеродных  
материалов для электрохимических конденсаторов» представленной на соискание ученой  
степени кандидата химических наук.

По специальности 02.00.05 – «Электрохимия»

Последние активно годы ведутся разработки высокоэффективных накопителей энергии, в частности электрохимических конденсаторов, которые обладают высокой удельной мощностью и прекрасной циклируемостью. Однако удельная емкость таких суперконденсаторов требует увеличения и любые работы в этом направлении являются актуальными.

Диссертационная работа Ермаковой А.С. направлена на исследование и модификацию углеродных материалов для электрохимических конденсаторов.

Для создания электродов электрохимических конденсаторов применяют высокопористые углеродные структуры, а в данной работе выбран активный уголь Norit DLC Supra 30, который является коммерческим продуктом, разработанным для применения в электрохимических конденсаторах. В автореферате диссертации Ермаковой А.С. представлены данные о комплексных исследованиях по изучению влияния окислительно-восстановительной модификации данного высокопористого углеродного материала гидроксидами щелочных металлов (Na, K), азотной кислотой и перманганатом калия, а также электропроводящих допантов (технический углерод, углеродные нановолокна) в накоплении заряда на электродах. Для квалифицированного сравнения полученных и исследуемых электрохимических материалов требуется не только определение их удельных электрохимических характеристик (удельные емкость, мощность, энергия), но и проведение комплекса физико-химических исследований (распределение пор по размерам, площадь поверхности, удельное сопротивление материала, изменение химического состава поверхности) и электрохимических свойств электродов (удельные емкость, мощность, энергия). Судя по автореферату такие данные в работе представлены. Для этого использован широкий набор методов исследования (просвечивающая электронная микроскопия, энерго-дисперсионный анализ, инфракрасная спектроскопия, четырехзондовый метод измерения сопротивления, кондуктометрическое титрование, циклическая вольтамперометрия, электрохимический импеданс. Они позволили автору определить особенности и характерные закономерности двойнослойных и фарадеевских процессов на новых электродах в водных и неводном электролитах (водные растворы серной кислоты и сульфата натрия и неводный раствор тетраэтиламмония тетрафторбората в ацетонитриле). Важно, что в итоге найден метод модификации и состав электрода, который обеспечивает наилучший результат по электрохимическим характеристикам электродов среди всех изученных методов обработки исходного углеродного материала. Как показано окислительно-восстановительная модификация азотной кислотой вызывает сокращение площади поверхности, но приводит к образованию множества поверхностных функциональных групп, обеспечивающих рост емкости электрода. При этом обратимость процессов заряда и разряда на электроде допускает многократное и длительное



циклирование электрода (показано, что не менее 1000 циклов) без снижения его характеристик. Показано, что несмотря на снижение удельной поверхности материала при такой обработке возникают дополнительные редокс-центры, которые в итоге приводят к увеличению удельной емкости. Данный метод модификации обеспечивает наилучший результат по электрохимическим характеристикам электродов среди всех изученных методов, что позволяет надеяться на его использование в коммерческих продуктах.

Экспериментальная часть диссертации выполнена на современном научном уровне с привлечением комплекса физико-химических и электрохимических методов, что позволяет охарактеризовать полученные результаты как вполне обоснованные и достоверные.

Результаты работы в полной мере опубликованы автором в авторитетных рецензируемых научных изданиях, в том числе входящих в международные системы цитирования Scopus и Web of Science, и были доложены на российских и международных конференциях.

В качестве замечаний необходимо отметить:

- в автореферате не содержится сведения об изменении структуры в ходе обработки исходного углеродного материала, в частности данные об соотношении мезо- и микропор в нано диапазоне и обоснование их влияния на удельную емкость.

Указанное замечание не влияет на высокую оценку диссертационной работы. Актуальность, новизна и практическая значимость полученных результатов очевидны, а сама работа выполнена на высоком научном уровне и полностью удовлетворяет требованиям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней». Автор – Ермакова Александра Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.05 – «Электрохимия».

Нефедкин Сергей Иванович  
профессор кафедры  
Химии и электрохимической энергетики  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования Национальный  
исследовательский университет "МЭИ"

д.т.н., профессор.  
111250, Россия, г. Москва,  
Красноказарменная улица, дом 14  
Телефон: +7 495 362-70-01 (ректор),  
+7 495 362-75-60 (справочная)  
тел. кафедры: +7 495 362-70-31  
Адрес электронной почты:  
nefedkinsi@mpei.ru  
https://mpei.ru



С.И. Нефедкин 16.11.2020

подпись руки Нефедкина С.И. заверяю

Ученой совет  
Ученого совета

РГСУ ИО "ИИУ" ИИ



И.В. Кузнецов