

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ**

по защите диссертации Табарова Фарруха Саадиевича на тему «Получение и свойства волокнистых углеродных материалов для электродов суперконденсаторов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – «Материаловедение» (металлургия), состоявшейся в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС») 16 января 2020.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» 11.11.2019, протокол № 13.

Работа выполнена на кафедре физической химии НИТУ «МИСиС».

Научный руководитель - Астахов Михаил Васильевич, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой физической химии НИТУ «МИСиС».

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» (11.11.2019, протокол № 13) в составе:

1. Эпштейн Светлана Абрамовна – доктор технических наук, профессор кафедры физики, заведующий НУИЛ «Физико-химии углей» НИТУ «МИСиС» - председатель;
2. Ракоч Александр Григорьевич - доктор химических наук, профессор кафедры металлургии стали, новых производственных технологий и защиты металлов НИТУ «МИСиС»;
3. Калошкин Сергей Дмитриевич – доктор физико-математических наук, профессор, директор ИНМиН НИТУ «МИСиС»;
4. Десятов Андрей Викторович - доктор технических наук, профессор кафедры промышленной экологии Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева»;
5. Слепцов Владимир Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиоэлектроники, телекоммуникаций и нанотехнологий Московского авиационного института (национальный исследовательский университет).

В качестве ведущей организации утвержден Объединённый институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН).

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **проведен** комплексный анализ существующих и перспективных методов получения высокопористых углеродных материалов и создания на их основе электродов для суперконденсаторов;
- **разработана** оригинальная методика высокотемпературной активации углеродных материалов с использованием многокомпонентных газовых смесей, позволяющая существенно увеличить адсорбционную и электрическую емкость электродов ячеек суперконденсаторов на основе этих углеродных материалов;
- с использованием современных методов, в том числе рентгеновской дифрактометрии, термогравиметрии, ИК-Фурье и Рамановской спектроскопии, сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии, газовой масс-спектрометрии и сорбционных методов **проведено** исследование физико-химических процессов, происходящих при пиролизе и активации вязкого и лигнит-целлюлозного растительного волокна, а также при формировании пористой структуры углеродных материалов;
- на основе полученных высокопористых углеродных материалов **созданы** рулонные электродные материалы для суперконденсаторов, которые по своим электрофизическим характеристикам сравнимы, а по мощностным параметрам превосходят имеющиеся на рынке образцы.

#### **Теоретическая значимость и новизна исследования:**

применительно к тематике диссертационного исследования (т.е. с получением обладающих новизной результатов):

- **установлено**, что диэлектрическая проницаемость электролита в порах с размером от 2 до 4 нм активированных углеродных материалов, полученных из растительного сырья, уменьшается в три раза относительно значения диэлектрической проницаемости самого электролита, и ионы диффундируют в эти поры с сольватными оболочками;
- **показано**, что разработанный метод активации углеродного волокна парами воды и смеси газов из пропана, бутана, изобутана помимо образования микропористой структуры приводит к формированию на поверхности волокон углеродных наноструктур и делает их поверхность гидрофобной;
- **обосновано** использование впервые полученного углеродного материала с мезопористой структурой из лигнит-целлюлозного растительного сырья (борщевика) в качестве электродного материала в суперконденсаторах;
- **доказано**, что применение обобщённой модели поры (по результатам импедансной спектроскопии) на примере электродов на основе композитов из углеродных нановолокон позволяет определить ряд важных электрохимических параметров, таких, как  $R_s$  – последовательное сопротивление электрода и токосъёмника,  $R_{эл}$  – сопротивление электролита в порах,  $Ad_{эс}$  - характеристика постоянного фазового элемента (CPE), а также

параметра  $\gamma$  – коэффициента, характеризующего распределение пор по размерам в материале электрода.

#### **Значение полученных соискателем результатов исследования для практики.**

Разработанные в рамках диссертационной работы методики активации углеродных материалов позволяют исключить из процесса производства активированных углей обработку их расплавом щелочи, которая широко применяется с целью увеличения их микро- и мезопористой структуры. Методика активации углеродных волокон в смеси паров воды и углеводородов позволяет добиться высоких значений удельной мощности и емкости на синтетическом сырье и может быть рекомендована к внедрению в производство. Электрохимические параметры ячеек суперконденсаторов с электродами на основе углеродных материалов, полученных из волокнистого растительного сырья, сравнимы с коммерческими углеродными материалами, применяемыми в суперконденсаторах. Это позволяет рассматривать полученные материалы в качестве альтернативы и/или дополнения к применяемым на сегодняшний день электродным материалам суперконденсаторов. Полученные автором результаты предполагается использовать на ООО «ТЭЭМП» при производстве углеродных материалов из отечественного сырья при создании электродов для суперконденсаторов.

**Достоверность полученных результатов** диссертационной работы обоснована использованием современного прецизионного оборудования, аттестованных методик исследования, взаимодополняющих методов анализа, статистической обработки результатов измерений, а также удовлетворительными результатами промышленных испытаний опытных образцов.

#### **Личный вклад соискателя состоит:**

в постановке цели и задач работы, в личном участии в проведении экспериментальных и теоретических исследований, их обработке и интерпретации, формулировке основных научных положений и выводов диссертации.

Основные положения и результаты работы отражены в 6 статьях, опубликованных в рецензируемых научных изданиях из перечня, рекомендованного ВАК; в том числе 3 в изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, а также в 1 патенте.

Пункт 2.6 Положения присуждения ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук НИТУ «МИСиС» соискателем ученой степени не нарушен.

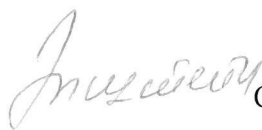
Диссертация Табарова Фарруха Саадиевича соответствует критериям п. 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ «МИСиС», так как в ней на основании выполненных автором исследований физико-химических процессов, происходящих при пиролизе и активации вискозного и лигнит-целлюлозного растительного волокна решена актуальная научная задача разработки методов получения новых углеродных материалов,

обладающих высокими электрофизическими характеристиками и экологической чистотой, для создания отечественных суперконденсаторов.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Табарову Ф.С. ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – «Материаловедение» (металлургия).

При проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 5 человек, участвовавших в заседании, из 5 человек, входящих в состав комиссии, проголосовала: за 5, против нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель Экспертной комиссии



С.А. Эпштейн

16.01.2020