

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

РХТУ.2.6.02 РХТУ им. Д.И. Менделеева  
по диссертации на соискание ученой степени доктора наук

аттестационное дело № 5/22  
решение диссертационного совета  
от 12 мая 2022 г. №6

О присуждении ученой степени доктора химических наук Баннову Александру Георгиевичу, представившему диссертационную работу на тему «Синтез и модификация нановолокнистых углеродных материалов и графитоподобных материалов функционального назначения» по научной специальности 2.6.12 Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Принята к защите 03 марта 2022 года (протокол №1) диссертационным советом РХТУ.2.6.02 РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 11 человек приказом ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева № 535А от 30 декабря 2021 года.

Соискатель Баннов Александр Георгиевич, 1985 года рождения, в 2012 г. получил ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.17.07 Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ (диссертационный совет Д212.204.08 при РХТУ им. Д.И. Менделеева, диплом серия ДКН №162802).

Соискатель работает доцентом кафедры химии и химической технологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» и по совместительству является старшим научным сотрудником, заведующим лабораторией химической технологии функциональных материалов Новосибирского государственного технического университета.

Диссертационная работа выполнена на кафедре химии и химической технологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».

Официальные оппоненты:

Окотруб Александр Владимирович, профессор, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией физикохимии наноматериалов, заведующий отделом химии функциональных материалов,

главный научный сотрудник федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт неорганической химии имени А.В. Николаева» Сибирского отделения Российской академии наук.

Дьячкова Татьяна Петровна, доктор химических наук, профессор, профессор кафедры «Техника и технологии производства нанопродуктов» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет».

Ведущая организация: АО «НИИГрафит», г. Москва.

Основные положения и выводы диссертационного исследования в полной мере изложены в 46 печатных работах, в том числе 23 статьях в журналах, индексируемых в научной базе Scopus и 3 статьях в журналах, рекомендованных ВАК. Оформлено четыре патента на полезную модель. Опубликованные работы полностью отражают результаты, полученные в диссертации. Результаты апробированы на всероссийских и международных конференциях. Личный вклад соискателя в работах, выполненных в соавторстве, составляет 60-80 % и заключается в непосредственном участии в планировании работ, проведении экспериментов, обработке и обсуждении результатов, а также в подготовке статей и ответов рецензентам.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Jašek, O. Controlled high temperature stability of microwave plasma synthesized graphene nanosheets / O. Jašek, J. Toman, D. Všianský, J. Jurmanová, M. Šnirer, D. Hemzal, A. G. Bannov, J. Hajzler, P. St'ahel, V. Kudrle // *J. Phys. D: Appl. Phys.* – 2021. – Vol. 54. – P. 165201 (Q2).
2. Bannov, A. G. Recent advances in ammonia gas sensors based on carbon nanomaterials / A. G. Bannov, M. V. Popov, A. E. Brester, P. B. Kurmashov // *Micromachines.* – 2021. – Vol. 12. – P. 186 (Q2).
3. Bannov, A. G. Thermal analysis of carbon nanomaterials: advantages and problems of interpretation / A. G. Bannov, M. V. Popov, P. B. Kurmashov // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry.* - 2020. - Vol. 142, iss 1. – P. 349-370. – DOI: 10.1007/s10973-020-09647-2 (Q1).
4. Bannov, A. G. Thermal behavior and flammability of epoxy composites based on multi-walled carbon nanotubes and expanded graphite: A comparative study / A. G. Bannov, O. B. Nazarenko, E. A. Maksimovskii, M. V. Popov, I. S. Berdyugina // *Applied Sciences.* – 2020. – Vol. 10, iss. 19. – Art. 6928 (13 p.). – DOI: 10.3390/app10196928 (Q2).
5. Nguyen, T. K. High-temperature-treated multiwall carbon nanotubes for hydrogen evolution reaction / T. K. Nguyen, A. G. Bannov, M. V. Popov, J. Yun, A. D. Nguyen, Y. S. Kim // *International Journal of Hydrogen Energy.* –

2018. – Vol. 43, Iss. 13. – pp. 6526–6531. – DOI: 10.1016/j.ijhydene.2018.02.081 (Q2).

6. Bannov, A. G. Enhanced ammonia adsorption on directly deposited nanofibrous carbon films / A. G. Bannov, O. Jasek, J. Prasek, J. Bursik, L. Zajickova // *Journal of Sensors*. – 2018. – Vol. 2018. – Art. 7497619 (14 p.). – DOI: 10.1155/2018/7497619 (Q2).

7. Bannov, A. G. Synthesis dynamics of graphite oxide / A. G. Bannov, A. Manakhov, A. A. Shibaev, A. V. Ukhina, J. Polcak, E. A. Maksimovskii // *Thermochimica Acta*. – 2018. – Vol. 663 (10). – P. 165–175. – DOI: 10.1016/j.tca.2018.03.017 (Q2).

8. Bannov, A. G. Investigation of pristine graphite oxide as room-temperature chemiresistive ammonia gas sensing material / A. G. Bannov, P. Prasek, O. Jasek, L. Zajickova // *Sensors*. – 2017. – Vol. 17, iss. 2. – Art. 320 (10 p.) (Q1).

9. Bannov, A. G. High-performance ammonia gas sensors based on plasma treated carbon nanostructures / A. G. Bannov, O. Jasek, A. Manakhov, M. Marik, D. Necas, L. Zajickova // *IEEE Sensors Journal*. – 2017. – Vol. 17, iss. 1. – P. 1964–1970. – DOI: 10.1109/JSEN.2017.2656122 (Q2).

10. Majzlikova, P. Sensing properties of multiwalled carbon nanotubes grown in MW plasma torch: electronic and electrochemical behavior, gas sensing, field emission, IR absorption / P. Majzlikova, J. Sedlacek, J. Prasek, J. Pekarek, V. Svatos, A. G. Bannov, O. Jasek, P. Synek, M. Elias, L. Zajickova, J. Hubalek // *Sensors*. – 2015. – Vol. 15, iss. 2. – P. 2644–2661 (Q1).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Официального оппонента д.ф.-м.н. Окотруба Александра Владимировича, заведующего лабораторией физикохимии наноматериалов, заведующий отделом химии функциональных материалов, главного научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт неорганической химии имени А.В. Николаева» Сибирского отделения Российской академии наук.

Актуальность тематики оппонент подтверждает тем, что оксид графита является базовым соединением для синтеза многих сложных химических композиций на основе графена. В зависимости от состава функциональных групп оксида графита, его химические свойства изменяются, таким образом, исследование зависимости строения графеновых материалов от параметров их синтеза является важной актуальной задачей для получения материалов с заданными функциональными свойствами. Одним из актуальных направлений исследований является разработка газовых химических

датчиков примесей токсичных соединений, существующих в воздухе в условиях промышленного производства и коммунального хозяйства. В последние годы интерес к изготовлению химических сенсоров на основе углеродных нанотрубок и графеновых структур резко возрос.

В отзыве представлена характеристика цели, научной новизны и практической значимости результатов, их достоверности, содержания работы, обоснованности заключений и выводов.

Оппонент сделал следующие замечания по диссертации:

1. Автор не определяет области значимости углеродных волокнистых материалов для применения в различных технологических процессах и изделиях. Не представлено обоснований структурных и функциональных характеристик, которые автор стремился придать своим материалам.

2. Согласно теории перколяции переход от диэлектрического к электропроводящему состоянию зависит от структуры частиц наполнителя. В диссертации отсутствуют данные, каким размерам частиц волокнистого углерода соответствуют наблюдаемые пороги перколяции.

3. Автор не объясняет причину изменения порога перколяции и абсолютной величины электропроводимости и диэлектрического отклика при изготовлении композиционных материалов из исходного нановолокнистого углерода и после его отжига при температуре 2600°C.

4. Измерение сенсорных свойств углеродных материалов проводится при концентрациях аммиака от 500 до 100 ппм. На мой взгляд, это очень высокие концентрации. Требуется объяснить для каких применений будут востребованы такие сенсоры.

5. В работе автор предлагает много новых терминов, взамен известных и общепринятых. Например, уже в названии используется термин «нановолокнистый углеродный материал». На мой взгляд, необходимо было использование «волокнистый углеродный наноматериал».

6. Рассматривая диэлектрические свойства полученных композиционных структур автор оперирует понятиями «хорошие» и «плохие». Совершенно не ясно, что стоит за этими определениями.

В заключении говорится, что приведенные замечания не снижают ценности выполненных исследований, не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы. Следует отметить, что результаты исследований представляют интерес для специалистов, работающих в области химии и технологии углеродных наноматериалов. Диссертационная работа на тему «Синтез и модификация нановолокнистых углеродных материалов и графитоподобных материалов функционального назначения» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу на

актуальную тему, содержащую большой объем экспериментального материала с высокой научной новизной и практической значимостью. По актуальности, новизне, практической значимости диссертация соответствует требованиям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», а ее автор – Баннов Александр Георгиевич заслуживает присуждения ученой степени доктора химических наук по специальности 2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ (химические науки).

2. Официального оппонента доктора химических наук, профессора Дьячковой Татьяны Петровны, профессора кафедры «Техника и технологии производства нанопродуктов» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет».

В отзыве оппонент отразила научную новизну диссертационной работы, большой объем экспериментальных данных о закономерностях синтеза и модифицирования нановолокнистых и графитоподобных углеродных материалов различных типов (многостенные углеродные нанотрубки, углеродные нановолокна, оксид графита, восстановленный оксид графита, графитовые нанопластинки). Было отмечено, что положения, выносимые на защиту, обладают научной новизной, не вызывают возражений, теоретически обоснованы и экспериментально доказаны. Выводы по работе соответствуют содержанию диссертации, не противоречат литературным данным, на которые имеются соответствующие ссылки в тексте диссертации, и базируются на экспериментальном материале. Подчеркнуто значение результатов диссертационной работы для науки и производства углеродных материалов, которые имеют перспективы практического применения в составе полимерных композитов, а также в качестве суперконденсаторов и газовых сенсоров, а также на установление рациональных режимных параметров синтеза материалов для последующего масштабирования и технологической реализации этих процессов.

Оппонент сделала следующие замечания и рекомендации по диссертации:

1. Вызывает вопросы корректность формулировок задач исследования:

- задача «разработать» не применима к соотношениям для расчета и регрессионным уравнениям;

- необходимо было пояснить, каким образом концентрация азотной кислоты может повлиять на удельную емкость графитовых нанопластинок в суперконденсаторах с сернокислым электролитом;

- следовало уточнить, в ходе какого процесса или в зависимости от чего автор планирует изучать закономерности изменения характеристик газовых сенсоров на основе МУНТ;

- нелогичной и непоследовательной выглядит задача разработки сенсора на основе оксида графита после того, как в предыдущем пункте ставилась задача всестороннего изучения сенсорного поведения многостенных углеродных нанотрубок.

2. Сведения о характеристиках материалов НВУ-1, НВУ-2 и НВУ-3 в ряде случаев противоречивы и не обоснованы. Например, непонятно, каким образом были определены размеры нанофиламентов этих образцов. Данные об удельной поверхности для НВУ-1, представленные на с. 83 ( $119 \text{ м}^2/\text{г}$ ), не соответствуют величине, приведенной в таблице ( $0,26 \text{ м}^2/\text{г}$ ).

3. Автор использует в работе некорректные термины, в частности:

- утверждается, что методом отбора проб материала из реакционной массы через определенные промежутки времени и их последующего анализа исследована «динамика» синтеза оксида графита, в то время как речь идет, конечно, об изучении кинетических закономерностей;

- на с. 120 величина, измеряемая в Ом, называется «удельной проводимостью»;

- математический термин «сходимость» не имеет отношения к оценке соответствия экспериментальных результатов теоретическим моделям и уравнениям, которое в работе определяется по разнице между опытными и рассчитанными величинами в %;

- в табл. 3.15 доли состояний атомов по данным РФЭС названы «площадями компонентов»;

- на рис. 4.49 при обозначении координатных осей ИК-спектра вместо пропускания указано поглощение.

4. В п. 3.9 на основании данных об ухудшении электрофизических свойств композитов в результате применения графитизированных форм наноуглеродных материалов сделан вывод, что упорядоченность графеновых слоев наполнителя не является фактором, определяющим электропроводность. Однако для того, чтобы это утверждать, следовало проводить корректное сравнение свойств композитов, содержащих однотипные углеродные наноструктуры с соизмеримыми размерами агломератов.

6. На с. 211 автор ошибочно (с точностью наоборот) утверждает, что снижение соотношения  $i(D)/i(G)$  обусловлено ростом содержания  $sp^3$ -атомов углерода. И тогда корреляция с данными РФЭС отсутствует.

В заключение указано, что Диссертационная работа на тему «Синтез и модификация нановолокнистых углеродных материалов и графитоподобных материалов функционального назначения» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу на актуальную тему, содержащую большой объем экспериментального материала, обладающую несомненной научной новизной и практической значимостью.

По актуальности, новизне, практической значимости диссертация соответствует требованиям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», а ее автор – Баннов Александр Георгиевич заслуживает присуждения ученой степени доктора химических наук по специальности 2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ (химические науки).

3. Отзыв ведущей организации АО «НИИГрафит», подписан доктором технических наук, главным научным сотрудником Самойловым Владимиром Марковичем. В отзыве рассмотрены актуальность работы, научная новизна полученных результатов, обоснованность и достоверность научных положений и выводов. Было отмечено значение результатов диссертационной работы для науки и производства.

При анализе работы были сделаны следующие замечания:

1. Автором проведен значительный объем исследований весьма разнообразных углеродных наноматериалов, с применением широкого спектра методов, однако, на наш взгляд, недостаточное внимание уделено обобщению результатов работы; в результате текст диссертации производит впечатление сборника статей по смежным тематикам.

2. Принятая со с. 86 (Глава 2) система обозначения массовых концентраций по отношению к массе матричного полимера, а не композиции, затрудняет сравнение с литературными данными, приводимыми в традиционных единицах обозначения (масс.%, об.%).

3. Из главы 2 (с.89) не вполне понятна суть дублирования электрофизических измерений на нескольких приборах, причем приведенная погрешность не превышает точности любого из них. Очевидно, речь идет о выборочной проверке результатов измерений на контрольных приборах.

4. На с. 120 (глава 3) удельная проводимость указана в единицах измерения [Ом]. Уровень  $10^6$ - $10^9$  Ом верный, если отнести к измерению

поверхностного сопротивления по ГОСТ 6433.2 (Материалы электроизоляционные твердые. Методы определения электрического сопротивления при постоянном напряжении). Вместе с тем, приведенный в ГОСТ метод требует измерения на стандартных образцах, и определяет величину поверхностного, а не объёмного сопротивления. Измеряющуюся в работе величину - электропроводность (характерные значения  $10^{-11}$ - $10^{-5}$  См/м, соответствующие значениям удельного объёмного сопротивления  $10^5$ - $10^{11}$  Ом·м), не дают возможность прямой оценки пригодности разрабатываемых материалов для изготовления антистатических покрытий.

5. Со с. 130 (глава 3) приводится объяснение зависимости «электрофизических» характеристик (очевидно, имеются в виду наибольшая проводимость, диэлектрическая постоянная и тангенс угла диэлектрических потерь, однако неясно, зачем делается попытка максимизации диэлектрической постоянной, при стремлении к увеличению электропроводности).

6. Непонятно, почему при постоянном токе системы, рассматриваемые в гл.3 неплохо описываются перколяционной моделью с порогом 0,183-0,21, что в 1,5 раза ниже порога «псевдоперколяции» при переменном токе (30 об.%). После неудачной попытки описать систему под действием переменного тока чистой перколяционной моделью с  $\varphi_c=0,183$ , автор приходит к закономерному выводу о том, что в системе в качестве проводящих включений работают агломераты УНВ, и для объяснения результатов вводит «модифицированное правило смесей», которое также слабо описывает систему, а также некоторые «дополнительные слагаемые». Следовало бы подробнее пояснить логику модификации правила смесей для объяснения экспериментальных данных.

7. В главе 5 приведены результаты работ по созданию сенсора, чувствительного к  $\text{NH}_3$  на основе модифицированных МУНТ. Сенсор обнаруживает высокую чувствительность к  $\text{NH}_3$  в диапазоне 20 -500 ppm (см. например рис. 5.11), и далее подтверждалась работоспособность сенсора при температуре 200 °С. Однако из данных представленных на рис. 5.24 видно, что температурная зависимость сопротивления датчика даже при изменении рабочей температуры в пределах  $\pm 10$  С приведёт к изменениям показаний сенсора на порядок. Время отклика сенсора составляет от десятков до сотен секунд, что может существенно сузить диапазон областей его применения.

Было отмечено, что диссертационная работа на тему «Синтез и модификация нановолокнистых углеродных материалов и графитоподобных материалов функционального назначения» является законченной научно-



квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых внесет значительный вклад в развитие технологии углеродных материалов. Было подтверждено соответствие работы требованиям на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Отзывы на автореферат:

1. Отзыв на автореферат доктора технических наук, доцента Сабировой Тамары Михайловны, профессора кафедры "Химической технологии топлива и промышленной экологии" Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования (ФГОУ ВО) «Уральский федеральный университет (УРФУ)» имени первого Президента России Б.Н. Ельцина». В отзыве отмечена актуальность темы исследований, поскольку она способствует развитию нанотехнологий с последующим переходом к промышленному производству наноматериалов функционального назначения.

Были отмечены следующие вопросы и замечания:

- известно, что при использовании ультразвука происходит не только перемешивание, но и вследствие кавитационного воздействия – химическое превращение молекул, сопровождающееся изменением характеристик эпоксидных олигомеров; в связи с этим различия в роли метода приготовления (стр. 14), по нашему мнению, связаны также с изменением состава связующего, что влияет на порог перколяции;

- плазменная функционализация нановолокнистых материалов сополимеризацией малеинового ангидрида и ацетилена (стр. 25, 28) похожа на плазмохимический синтеза карбина с получением на поверхности серебристо-белого налета, поэтому кроме осаждения кислородсодержащих функциональных групп должно происходить и осаждение углеродного материала;

- учитывая, что предлагаемая технология существенно отличается от известной традиционной, включающей дробление, прокаливание, обжиг (спекание) и графитацию, то хотелось бы знать ориентировочную стоимость новых синтезированных материалов в сопоставлении;

2. По тексту и формулировкам:

- повторы (стр. 9); описки (стр. 19); некорректно назван метод (стр. 11); большое число обозначений, встречающихся в тексте без пояснений, что затрудняет восприятие материала;

- цель работы, это все-таки, по нашему мнению, разработка способа получения (синтеза) нановолокнистых и графитоподобных материалов заданного функционального назначения (или с заданными свойствами), тогда как авторская формулировка цели – это одна из основных задач исследований для достижения цели;

- изложения материала в целом понятное, но для ясности изложения текста и формулировок не хватает некоторой четкости. Рецензент подтверждает соответствие работы требованиям на соискание ученой степени доктора химических наук.

2. Отзыв на автореферат кандидата химических наук, Димиева Айрата Маратовича, ведущего научного сотрудника ФГАОУ ВО «Казанский Федеральный Университет», Химический институт им. Бутлерова, НИЛ «Перспективные углеродные наноматериалы». В отзыве отмечена перспективность применения углеродных наноматериалов и огромный их потенциал для силовой электроники, микроэлектроники, полимерных композиций, сорбентов и т.п. В отзыве подчеркнута научная значимость и практическая значимость работы.

Были выделены следующие замечания к автореферату:

1. Работа охватывает очень широкий спектр, как концептуальных тем, так и объектов исследования. Области исследования варьируются от проводимости диэлектрических полимерных композитов и изготовления сенсоров до деталей синтеза углеродных нанотрубок, и деталей синтеза оксида графена и обсуждения его структуры. Это совершенно разные вещи, которые практически никак не связаны между собой. К сожалению, в диссертационной работе Соискателю не удалось органично связать эти различные направления под одним зонтиком. Каждый раздел представляет собой самостоятельное исследование без какой-либо связи с другими разделами. Соответственно, при чтении автореферата не возникает ощущения целостности работы.

2. Выводы, сделанные соискателем в главе 4 по синтезу ОГ представляются не совсем обоснованными. Отдельные приведенные в автореферате формулировки противоречат имеющемуся в литературе описанию механизма образования ОГ. Однако, сделать однозначные выводы об этом не читая текста диссертации сложно.

Есть отдельные технические моменты, вызывающие вопросы:

- Оксид графена с атомным соотношением C:O = 0,52, как это указано в пункте 4 раздела «научная новизна» и далее на стр. 20, не может

существовать в принципе. Это либо техническая ошибка в расчетах, либо неверная интерпретация экспериментальных данных.

- На рисунке 1, описывающем условия синтеза ОГ, указано количество использованного перманганата калия, но отсутствует количество графита. Эта информация отсутствует и в тексте автореферата. Между тем, это ключевой параметр, без которого все дальнейшие рассуждения теряют смысл. Таким образом, понять суть экспериментов и полученных результатов данного раздела на основе автореферата не представляется возможным.

Рецензент указывает, что автор работы заслуживает присуждения ученой степени доктора химических наук по специальности 2.6.12 Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

3. Отзыв на автореферат доктора технических наук, профессора, Галиханова Мансура Флоридовича, профессор кафедры технологии переработки полимеров и композиционных материалов ФГБОУ ВО «Казанского национального исследовательского технологического университета». В отзыве отмечено, что нановолокнистые углеродные и графитоподобные материалы представляют интерес с практической точки зрения, например, их применение для создания композиционных материалов и устройств различного назначения является достаточно перспективным направлением. Рецензент находит интересными пункты научной новизны в части получения графитовых нанопластинок. Отмечена перспективность принципиальной возможности получения различных видов оксидов графита по модифицированному методу Хаммерса.

По работе имелись следующие замечания:

1. Нет сравнения эпоксидных композитов, полученных для использования в качестве материалов антиэлектростатических покрытий и экранов для защиты от электромагнитного излучения, с применяемыми в настоящее время для этих целей отечественными и зарубежными материалами.

2. Почему полимерные композиты с нановолокнистыми углеродными материалами были получены и исследованы, а с графитовыми нанопластинками, с оксидом графита – нет?

Рецензент подтверждает соответствие работы требованиям на соискание ученой степени доктора химических наук.

4. Отзыв на автореферат доктора технических наук, Назаренко Ольги Брониславовны, профессора отделения контроля и диагностики Инженерной школы неразрушающего контроля и безопасности федерального

государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский политехнический университет». В отзыве отмечены актуальность работы, научная и практическая значимость результатов работы.

По тексту автореферата имеются следующие вопросы и замечания:

1. Полимерные композиционные материалы для исследований были изготовлены на базе эпоксидного олигомера DER-331. Почему была выбрана эта марка, и будут ли меняться установленные закономерности при изменении марки эпоксидного олигомера?

2. Кроме синтезированных материалов трех видов (НВУ-1, НВУ-2, НВУ-3), для создания эпоксидных композитов были использованы коммерческие МУНТ, произведенные компанией Shenzhen Nano-Tech Port Co. В то же время, в автореферате присутствуют результаты изменения электрофизических свойств эпоксидных композитов на базе нановолокнистого углеродного материала со структурой «вложенных конусов» НВУ-1.

3. При описании результатов исследования динамики синтеза оксида графита по модифицированному методу Хаммерса дана ссылка на таблицу 5 автореферата, где образцы обозначаются как ОГ-10, ОГ-30, ОГ-60 и т. д., в то же время в самих результатах образцы обозначены как ОГ-1, ОГ-2, ОГ-3 и т.д.

4. Для синтеза многостенных углеродных нанотрубок, осажденных на Si/SiO<sub>2</sub> подложку, был использован Fe катализатор. Чем обусловлен выбор такого металлического катализатора?

Рецензент отметил, что по своей актуальности, новизне, практической значимости представленная диссертация соответствует требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», а ее автор – Баннов Александр Георгиевич – заслуживает присуждения ученой степени доктора химических наук по специальности 2.6.12 Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

5. Отзыв на автореферат доктора химических наук Елисеева Олега Леонидовича, заведующего лабораторией каталитических реакций оксидов углерода ФГБУН Института органической химии им. Н.Д. Зелинского Российской академии наук.

В отзыве отмечены актуальность и достоверность полученных результатов,

В качестве замечания указаны:

1. Выход в синтезе восстановленного оксида графита не является его свойством (характеристикой).

2. Для предоставленных в работе регрессионных уравнений не указаны соответствующие коэффициенты детерминации  $R^2$ .

Рецензент подтверждает соответствие работы требованиям на соискание ученой степени доктора химических наук.

6. Отзыв на автореферат доктора технических наук Загоруйко Андрея Николаевича, ведущего научного сотрудника Института катализа СО РАН.

В отзыве подчеркивается научная и практическая значимость результатов работы.

По тексту диссертации возникли следующие вопросы:

1. Вопрос выбора объекта исследования среди оксидов графита не достаточно полно рассмотрен. На чем был основан выбор?

2. На рис. 5 (справа) для некоторых образцов НВУ, например НВУ-1-15g/7.5, наблюдается хорошо выраженное плато значений диэлектрической проницаемости в области частот 10-103 Гц. В реферате не описана природа возникновения такого плато, а также нет объяснения почему для некоторых других образцов его не наблюдается.

Рецензент отмечает высокий уровень работы и подтверждает ее соответствие требованиям на соискание ученой степени доктора химических наук.

7. Отзыв на автореферат доктора химических наук Уварова Николая Фавстовича, главного научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт химии твердого тела и механохимии».

Рецензент подчеркнул актуальность изучения закономерностей свойств углеродных материалов в зависимости от методов получения и модификации, поскольку решение таких проблем необходимо для существенного улучшения функциональных характеристик углеродных наноматериалов.

В качестве замечаний рецензент указал следующее:

1 Приведенные в работе значения содержания кислорода в некоторых образцах (например, соответствующее атомному соотношению  $C:O = 0,52$ ) слишком завышены. Метод РФЭС, на который ссылается соискатель, дает информацию лишь о поверхностных слоях материала. В этой связи не ясно,

какими дополнительными методами определялось содержание кислорода в материала и с какой точностью определены значения атомного соотношения С:О, указанные в работе.

2 Не ясно, какими причинами обусловлен нетривиальный вид вольтамперных кривых, представленных на рис. 78, не типичный для электродных материалов с двойным электрическим слоев, обычно используемых в суперконденсаторах.

Рецензент подтверждает соответствие работы требованиям на соискание ученой степени доктора химических наук.

Выбор официальных оппонентов обусловлен областью их научных интересов, наличием большого числа публикаций в ведущих рецензируемых журналах, что позволило им определить научную и практическую значимость представленной диссертации, отзывы оппонентов положительные.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований разработаны подходы к улучшению параметров модификации нановолокнистых углеродных материалов для их применения в полимерных композитах; способы воздействия на графитоподобные материалы для повышения их сорбционной активности по отношению к аммиаку; предложена модифицированная методика получения оксида графита.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что разработано модифицированное правило смесей, позволяющее описывать электрофизические свойства композитов на базе бисфенола А и нановолокнистого углерода; предложены решения по снижению температуры термического восстановления оксидов графита; изучено поведение терморасширенных графитов различной пористости при окислении кислородом воздуха; экспериментально определены параметры поведения оксидов графита различной степени окисленности при нагревании; экспериментально определены кинетические закономерности изменения содержания функциональных групп в оксиде графита в процессе его синтеза; предложены подходы по повышению электрохимических характеристик графитовых нанопластинок.

Значение полученных соискателем результатов для практики подтверждается тем, что были предложены новые подходы к модификации углеродных наноматериалов для изменения частотных зависимостей электрофизических свойств применительно к областям экранирования электромагнитного излучения и защиты от электростатического разряда;

получены регрессионные зависимости термически восстановленных графитовых материалов, полученных из оксида графита, которые связывают параметры получения и выход, насыпную плотность материалов; предложен способ плазменной модификации углеродных наноматериалов для увеличения сорбционных характеристик и создания высокочувствительных газовых сенсоров аммиака; сформулированы рекомендации к технологии получения углеродных нановолокнистых углеродных материалов и графитоподобных материалов функционального назначения для полимерных композитов, суперконденсаторов и газовых сенсоров.

Оценка достоверности результатов исследования выявила применение современных методов экспериментальных исследований, большое количество репрезентативных экспериментальных данных, адекватность созданных регрессионных моделей.

Личный вклад соискателя состоит в выборе направлений исследования, постановке задач, выборе подходов к их решению, разработке методик экспериментов, планировании и проведении экспериментов (лично или под руководством автора), анализе результатов и их обобщении, а также в личном участии в апробации результатов исследований и подготовке научных публикаций. Вклад автора является решающим во всех разделах работы.

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертационная работа соответствует паспорту специальности научных работников 2.6.12 Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ по п. 10. Электродные технологии и технологии производства углеродных материалов различного назначения, технический углерод. Новые виды сырьевых углеродистых материалов.

Диссертационный совет пришёл к выводу, что диссертация представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором научных исследований разработаны положения, совокупность которых можно квалифицировать как крупный вклад в решение важной научной проблемы по разработке основ синтеза и модификации нановолокнистых углеродных материалов и графитоподобных материалов функционального назначения.

По актуальности, новизне, практической значимости диссертация соответствует требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный химико-технологический университет имени Д.И.

Менделеева», утвержденном приказом ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева № 1523ст от 17.09.2021 г.

На заседании диссертационного совета РХТУ.2.6.02 РХТУ им. Д.И. Менделеева «12» мая 2022 года принял решение присудить Баннову Александру Георгиевичу ученую степень доктора химических наук по специальности 2.6.12 Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 10 человек, из них 5 докторов наук по специальности и отрасли наук рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, в том числе 2 человека в режиме видеоконференции, из 10 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени 7, против присуждения учёной степени – нет, недействительных бюллетеней – 3.

Председатель диссертационного совета Т.В. Бухаркина

Ученый секретарь диссертационного совета Р.А. Козловский



12.05.2022