

В диссертационный совет 24.2.385.01,
созданный на базе ФГБОУ ВО
«Санкт-Петербургский
государственный университет
промышленных технологий и дизайна»
191186, г. Санкт-Петербург,
ул. Большая Морская, д. 18

ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Марценюка Вадима Владимировича
«Разработка непрерывно- и дисперсно-наполненных композитов с
фторполимерными матрицами для создания газодиффузионных слоёв
водородных топливных элементов», представленную на соискание
учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.11.
«Технология и переработка синтетических и природных полимеров и
композитов»**

Водородно-воздушные твердополимерные топливные элементы (ТПТЭ) занимают особое место среди альтернативных электрохимических источников энергии. Эти устройства отличаются высокой экологичностью, бесшумностью работы и низкой рабочей температурой (60-80°C). Конструкционным и функциональным элементом ТПТЭ является мембранно-электродный блок, состоящий из газодиффузионных слоев (ГДС), покрытых с внутренней стороны каталитическим материалом и разделенных протонпроводящей мембраной. ГДС отвечает за транспортировку газообразных водорода и кислорода к катализатору и отвод продукта электрохимических реакций – воды. Газодиффузионный слой представляет собой непрерывно-наполненный композиционный материал, имеющий либо углерод-углеродную, либо углерод-полимерную основу. Дополнительным материалом, повышающим эффективность работы ГДС, является микропористый слой (МПС), состоящий из фторполимерных связующих и токопроводящих углеродных дисперсных наполнителей.

Разработка технологии получения ГДС для топливного элемента – комплексная и сложная задача, т.к. к ГДС предъявляются строгие требования: равномерная и малая толщина (около 300 мкм), низкое электрическое сопротивление (десятки мОм), высокая общая пористость (более 50%), гидрофобность, механическая прочность, хемостойкость и теплопроводность. Исследовательские работы, направленные на разработку высокопроизводительных отечественных ГДС ТПТЭ, чрезвычайно важны и актуальны. Разработанные диссертантом углерод-полимерные композиционные ГДС на основе тканых и нетканых материалов (УПКМ) изготовлены с использованием полностью отечественного сырья по ресурсосберегающей технологии без стадий карбонизации и графитизации.

Научной новизной работы является экспериментально установленная и научно-обоснованная совокупность факторов (тип волокнистого углеродного

наполнителя, химическая природа фторполимера, его содержание в композите и способ нанесения), позволяющих получать композиционный материал с необходимыми свойствами для применения в качестве ГДС, исключив стадии карбонизации и графитизации. Новизна работы подтверждена патентом Российской Федерации на изобретение № 2804329 от 04.07.2022 г. «Способ получения углеродного волокнистого электропроводящего материала и материал на его основе» и грантом Фонда содействия инновациям от 26.12.2022 г. по теме: «Разработка газодиффузионных электродов на основе углерод-полимерных композитов для топливных элементов водородной энергетики».

Достижением научно-исследовательской работы В.В. Марценюка является выявленный экстремальный характер зависимости общей пористости композиционных материалов на основе тканого углеродного наполнителя от содержания в них фторполимеров. Экспериментально доказано, что высокая гидрофобность композитов при сохранении электропроводящих свойств углеродной волокнистой основы обеспечивается формированием на поверхности углеродных филаментов шаровидных наночастиц полностью фторированного фторполимера, объединенных за счёт термического спекания.

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений. Они получены с использованием комплекса современных взаимодополняющих физико-химических методов исследований и согласуются с имеющимися в настоящее время теоретическими и практическими достижениями мирового уровня.

Теоретическая значимость работы состоит в развитии представлений о механизме увеличения общей пористости УПКМ на основе тканых углеродных материалов за счёт введения строго определенного количества полностью фторированного полимерного связующего при формировании композита с сохранением его электропроводящих свойств.

Практическая значимость заключается в применении новых подходов к получению композиционных материалов с фторполимерными матрицами с техническими характеристиками на уровне мировых аналогов.

Цель и поставленные в ее рамках конкретные задачи диссертационной работы полностью выполнены. Весь комплекс проведенных работ и полученные результаты имеют существенное значение для развития фундаментальных и прикладных аспектов в области технологии и переработки синтетических и природных полимеров и композитов.

Основные результаты работы опубликованы в 7 научных статьях в высокорейтинговых отечественных и зарубежных журналах и 6 тезисах докладах всероссийских и международных конференциях. Получены 3 акта внедрения и 1 патент РФ на изобретение.

Автореферат диссертации в целом дает полное представление о содержании диссертации. Вместе с тем, при прочтении автореферата возникают следующие замечания и вопросы:

1. Большое количество сокращений и повторности, а также стиль изложения затрудняют восприятия диссертационного материала;
2. В автореферате не хватает классификации углеродсодержащих и фторполимерных материалов, используемых при создании ГДС ТПТЭ, определения ключевых понятий, например, что такое непрерывно- и дисперсно-наполненные композиционные материалы, матрица и т.п., предъявляемых требований (технических показателей) к ГДС топливного элемента. Необходимо отметить, что в диссертационном материале всё перечисленное выше имеется;
3. На стр. 6 представленные технологические блок-схемы (рис. 1 и 2) получения УПКМ ГДС полностью не отражают весь технологический процесс, описанный в материале диссертации;
4. На стр. 9, рис. 5 представлены условные изображения углеродных филаментов, покрытых наночастицами фторопласта (ФП-2), и СЭМ-изображения ФП-2. К этому рисунку не хватает, имеющие в диссертационном материале, СЭМ изображения углеродных филаментов, покрытых ФП-2. Из автореферата непонятно так плотно, сплошным слоем покрывают филаменты все используемые ФП (ФП 1 и 3) или только ФП-2? Почему была выбрана именно матрица ФП-2 для изготовления непрерывно-наполненных УПКМ ГДС?
5. Изображения СЭМ (рис. 7, стр. 10) имеют различную бар-линию (различное увеличение), что затрудняет их сравнение;
6. Из материала автореферата неясно какой УПКМ ГДС (на основе УТ-ГЦ, УНМ и УБ) является лучшим и рекомендуется;
7. На стр. 11 в предложении «Нанесение МПС на УПГДС позволяет снизить УЭС поперёк плоскости с 18,9 до 17,0 мОм/см² (УТ-ГЦ); с 23,8 до 24,1 мОм/см² (УНМ) и с 52,0 до 46,8 мОм/см² (УБ из ПАН-1), то есть в среднем на 10 % в случае нанесения МПС методом прессования, а также с 18,9 до 15,1 мОм/см² (УТ-ГЦ)», вероятно, подчеркнутые значения перепутаны местами;
8. Какой способ нанесения микропористого слоя на УПКМ ГДС является наиболее приемлемым?
9. На рис. 10, стр. 13 неправильно указаны стрелки к кривым ВАХ и мощности ТПТЭ с УПКП ГДС/МПС и эталона: удельная мощность должна быть обозначена черными знаками, а зависимость тока от напряжения – синими, а не наоборот;
10. Удельная мощность УПКП ГДС с МПС с комбинированным наполнителем на основе УБ из ПАН-1 (рис. 10) является самой высокой из полученных УПКМ. Однако другие характеристики этого композиционного материала не приведены;
11. В выводах автореферата указано, что полученные УПКМ обладают хемостойкостью. Тем не менее в самом автореферате не приводятся данные об этом.

Озвученные замечания и вопросы не уменьшают актуальности, научной и практической составляющих диссертационной работы, которая однозначно отвечает всем требованиям ВАК Минобрнауки России, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук и соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (с изменениями и дополнениями), а сам Марценюк В.В. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.11. «Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов».

Иванова Александра Геннадьевна 02.03.2026
кандидат химических наук (02.00.01 – специальность «неорганическая химия»), заведующая лабораторией неорганического синтеза

Филиал федерального государственного бюджетного учреждения «петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» — институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова (филиал НИЦ «Курчатовский институт»-ПИЯФ-ИХС)

Адрес организации: 199034, Россия, г. Санкт-Петербург, Макарова наб., д. 2
Телефон организации: 8(812) 328-07-02
e-mail организации: ichs@pnpi.nrcki.ru печать для заверения подписи

Я, Иванова Александра Геннадьевна, даю своё согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

