

## **Отзыв**

официального оппонента на диссертационную работу Глухова Вячеслава Геннадьевича на тему «Формирование супергидрофобных композиционных электрохимических покрытий на основе меди и хрома», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.9 - Технология электрохимических процессов и защита от коррозии

Диссертация Глухова Вячеслава Геннадьевича посвящена разработке физико-химических основ процессов формирования супергидрофобных композиционных электрохимических покрытий на основе меди и хрома с улучшенными физико-механическими свойствами и исследованию их функциональных свойств.

### **Актуальность исследования**

В последние два десятилетия явления супергидрофобизации вызывают неугасающий интерес в научном сообществе из-за их возможных применений для: самоочищения поверхности, включая ее биообрастание, разделения нефти и воды, препятствия обледенению поверхности и др. Однако широкого внедрения супергидрофобных покрытий (СГФП) в промышленности до сих пор не произошло. Одним из главных сдерживающих факторов является низкая механическая стойкость и, как следствие, недолговечность супергидрофобных свойств покрытий. Для получения СГФП необходимо иметь полимодальную шероховатость и низкую поверхностную энергию гидрофобизатора. В литературе часто предлагаются электрохимические способы получения полимодальной поверхности, основанные на электроосаждении дендритоподобных металлических осадков. Но их механическая прочность незначительна и в большинстве случаев такое покрытие смывается струей воды. Поэтому актуальной задачей является разработка электрохимических методов формирования СГФ покрытий, обладающих улучшенными физико-механическими свойствами. Направление получения супергидрофобных композиционных электрохимических покрытий, рассматриваемое в данной диссертации, является весьма

перспективным.

### **Научная новизна результатов работы.**

1. Впервые показана возможность улучшения физико-механических свойств супергидрофобных электрохимических покрытий на основе меди и хрома путем их электроосаждения из электролитов-суспензий с нанодисперсными частицами. Соосажденные в покрытие агломераты наночастиц одновременно дисперсно упрочняют металлическую матрицу и являются базовыми субмикро- и микроструктурами с полимодальной шероховатостью, обеспечивающими супергидрофобные свойства КЭП после нанесения гидрофобизатора.

2. Впервые предложены КЭП Cu-SiC, Cu-MoS<sub>2</sub>, Cu-MoS<sub>2</sub>/Cr, Cr-Nb<sub>2</sub>N+Ta<sub>2</sub>N, которые после обработки рядом гидрофобизаторов (стеариновая кислота, карнаубский воск и др.), характеризуются краевым углом смачивания 155-162°, отличаются на 2-3 порядка лучшей износостойкостью в сравнении с супергидрофобными дендритными электрохимическими покрытиями, описанными в литературе, и могут быть использованы, в частности, для разделения полярных и неполярных жидкостей с эффективностью 94,5-99,9%.

### **Теоретическая и практическая значимость работы.**

Теоретическая значимость работы заключается в формулировании общих физико-химических подходов для разработки процессов формирования супергидрофобных КЭП на основе меди и хрома.

Практическая значимость работы заключается в разработке ряда супергидрофобных КЭП, сочетающих в себе большую величину краевого угла смачивания, коррозионную устойчивость и сравнительную износостойкость. На их основе получены супергидрофобные сита для разделения полярных и неполярных жидкостей с высокими эксплуатационными свойствами. Показана их эффективность как в сборе масляных загрязнений с поверхности воды, так и регенерации нефтяных топлив от загрязнения влагой до допустимых значений.

### **Общая характеристика работы.**

Диссертация включает введение, четыре главы, заключение по работе и список литературы, включающий 185 работ отечественных и зарубежных авторов. Работа изложена на 159 страницах, содержит 70 рисунков, 13 таблиц и 2 приложения.

Во **Введении** изложены актуальность темы, формулировка цели и задач исследования, научная новизна и практическая значимость.

В главе **Литературный обзор** рассмотрено явление супергидрофобности и необходимые и достаточные условия для его достижения, проанализированы современные подходы к созданию требуемой микрошероховатости и используемые гидрофобизаторы, приведены факторы влияющие на морфологию КЭП и примеры существующих композитов на основе меди и хрома, освещена проблема механической стойкости супергидрофобных поверхностей.

В главе **Методики экспериментов** описаны реактивы, составы и способ приготовления использованных электролитов, свойства добавок наночастиц (SiC, MoS<sub>2</sub> и др.), используемые подложки (медная фольга, бронзовые сита). Приведены методики исследования морфологии покрытий, механической прочности, супергидрофобности, коррозионной стойкости, эффективности разделительных сит с разработанными покрытиями.

В **3 главе** приведены результаты экспериментов по получению супергидрофобных покрытий на основе дендритов меди, оценке их механической прочности и результатов коррозионных испытаний. Далее рассмотрено получение супергидрофобных покрытий на основе КЭП Cu-SiC, КЭП Cu-MoS<sub>2</sub>, КЭП Cu-MoS<sub>2</sub>/Cr, КЭП Cr-MoS<sub>2</sub>, Cr-SiO<sub>2</sub>, Cr-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Cr-SiC, КЭП Cr-Nb<sub>2</sub>N+Ta<sub>2</sub>N. Рассмотрено осаждение КЭП, гидрофобизация и морфология супергидрофобных КЭП, испытания их механической устойчивости и коррозионные испытания. Оценены особенности пленок использованных гидрофобизаторов на медных и хромовых КЭП. Приведены результаты по использованию супергидрофобных КЭП, обработанных стеариновой кислотой, для получения супергидрофобных сит для разделения

полярных и неполярных жидкостей. Показана их эффективность в сборе масляных загрязнений с поверхности воды, при регенерации нефтяных топлив от загрязнения влагой до допустимых значений, при фильтрации промышленных стоков, содержащих различные загрязнения маслами и топливами.

В 4 главе приводятся обсуждение результатов и практические рекомендации. Представлены оптимальные режимы получения КЭП с требуемой шероховатостью. Для достижения механической устойчивости супергидрофобных композитов предлагается два подхода: первый — это использование твёрдых частиц для создания на поверхности прочных микроструктур (Cu-SiC, Cr-Nb<sub>2</sub>N+Ta<sub>2</sub>N), второй - использование «мягких» и гидрофобных частиц (Cu-MoS<sub>2</sub>, Cu-MoS<sub>2</sub>/Cr), покрытие с которыми может частично разрушаться, но при этом всё равно оставаться супергидрофобным.

Показано, что для получения полимодальной поверхности предпочтительно использовать высокие концентрации (5-40 г/л) нанодисперсных частиц, в этом случае в покрытие будут включаться их агломераты. Такие КЭП характеризуются супергидрофобными углами смачивания. Обосновано предпочтительное использование химически адсорбированных гидрофобизаторов, в частности, стеариновой кислоты, поскольку их пленки более устойчивы при механическом воздействии или под действием воды. Даны рекомендации по использованию СГФ КЭП для изготовления супергидрофобных сит для разделения полярных и неполярных жидкостей (2 приложения с актами промышленных испытаний).

#### **Обоснованность и достоверность выводов и результатов диссертации.**

Результаты, представленные в данной диссертации, получены на основе сочетания широкого спектра современных аналитических методов, стандартных и разработанных методик испытаний, согласованности данных, полученных при использовании комплекса методов исследования, и сопоставления полученных результатов с известными теоретическими и

экспериментальными данными других авторов. Основные результаты по теме диссертации изложены в 20 научных работах, в том числе в 4 статьях в изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science, Scopus, а также 16 тезисах докладов в материалах всероссийских и международных конференций. Получено 2 патента РФ. Результаты диссертационного исследования обсуждены на международных и всероссийских научно-технических конференциях. Это позволяет констатировать: результаты диссертации обоснованы и достоверны.

### **Замечания и вопросы по работе**

1. В таблице 3.9.2 (с. 120) приведены данные по остаточному содержанию воды в дизтопливе, отделенном от воды посредством использования разделительных сеток для удаления воды из топлива (ссылка на Приложение 1). Однако в Приложении 1 не приводятся конкретные данные, как в Приложении 2, кроме указания номеров протоколов испытаний.
2. Почему в списке литературы в диссертации не приводятся ссылки на полученные автором диссертации патенты и их сканы не размещены в Приложениях?
3. Какого максимального размера могут быть изготовлены сита с супергидрофобными КЭП для удаления пленок неполярных жидкостей с поверхности воды?
4. В работе имеются стилистические погрешности и грамматические ошибки. Встречаются повторы в списке литературы, например, 176 и 180.

Высказанные замечания имеют в большинстве случаев дискуссионный характер, не затрагивают сути и основных выводов диссертации и не влияют на общую положительную оценку работы в целом.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации, которая является завершённой научно-квалификационной работой и в которой получен большой объем новых данных.

### **Общее заключение по диссертационной работе.**

Актуальность темы исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, апробация и внедрение результатов позволяют сделать вывод о том, что диссертационная работа Глухова Вячеслава Геннадьевича на тему «Формирование супергидрофобных композиционных электрохимических покрытий на основе меди и хрома» отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103 ОД. На основании изложенного Глухов Вячеслав Геннадьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.9 - Технология электрохимических процессов и защита от коррозии.

Официальный оппонент:

Доктор химических наук (02.00.05 -Электрохимия),  
профессор, заведующий кафедрой химии  
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный  
университет им. Г.Р. Державина»

Цыганкова Людмила Евгеньевна

27.11.2025

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный  
университет им. Г.Р. Державина»  
392000, Тамбов, ул. Интернациональная, 33.  
Тел.: +7(0037 07 60 50,  
E-mail: y [redacted]

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный  
университет имени Г.Р. Державина»  
Подпись Цыганкова Л.Е.  
**ЗАВЕРЯЮ**  
Директор Многофункционального центра  
Управления кадрового сопровождения

« 27 » ноября 2025