

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. ректора ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный университет», доктор
юридических наук, профессор

Ю.Н. Старилов

«05» декабря 2025 года

Отзыв ведущей организации

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

Актуальность темы исследования.

Супергидрофобные покрытия обладают рядом важных с практической точки зрения характеристик, которые позволяют создавать на их основе материалы, обладающие водоотталкивающими, защитными, противокоррозионными свойствами, а также технологии для разделения органических и неорганических сред. При этом широкому внедрению супергидрофобных покрытий в промышленности препятствует, в основном, их невысокая механическая стойкость. Кроме того, несмотря на достаточно широкий спектр способов получения таких покрытий, они зачастую характеризуются серьезными недостатками, включая зависимость от структуры и состава обрабатываемой поверхности, использование токсичных, коррозионно-активных и горючих газообразных реагентов, низкую адгезию, а также технические сложности реализации, особенно в случае необходимости супергидрофобизации поверхностей значительной площади. Электрохимические методы получения супергидрофобных покрытий не требуют сложного оборудования, являются воспроизводимыми и масштабируемыми и позволяют получать покрытия на различных подложках. Важным преимуществом электроосаждения является возможность получения покрытий с варьируемой и иерархически структурированной поверхностью, которая обладает многоуровневой

(полимодальной) шероховатостью, что является одним из основных факторов формирования супергидрофобной поверхности, поскольку способствует достижению более высоких углов смачивания. Однако при создании супергидрофобных покрытий методом электроосаждения зачастую формируются дендритоподобные металлические осадки, вследствие чего получаемые супергидрофобные поверхностные структуры обладают низкой механической прочностью, что существенно ограничивает их практическое применение. Решению данной проблемы может способствовать разработка комплексных методов получения супергидрофобных поверхностей, включающих электрохимическое формирование покрытий с полимодальной шероховатостью с использованием композиционных электрохимических покрытий (КЭП) и последующей дополнительной обработкой гидрофобизаторами.

Таким образом, актуальной является задача по разработке электрохимических методов формирования супергидрофобных покрытий, обладающих улучшенными физико-механическими свойствами. Диссертационное исследование Глухова В.Г. направлено на решение этой задачи, поскольку целью работы является, согласно тексту диссертации, «разработка физико-химических основ процессов формирования супергидрофобных КЭП на основе меди и хрома с улучшенными физико-механическими свойствами, исследование функциональных свойств полученных покрытий».

Исследования, проведенные в рамках диссертационной работы Глуховым В.Г., выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ и частичной поддержке программы «УМНИК» Федерального государственного бюджетного учреждения «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (Фонд содействия инновациям).

Общая характеристика работы. Представленная диссертационная работа, изложенная на 159 страницах, состоит из введения, 4 глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 185 наименований и двух приложений; содержит 70 рисунков, 13 таблиц. Автором выполнен обстоятельный обзор литературных публикаций по теме диссертации, в котором обоснована актуальность темы исследований.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, изложена научная новизна,

теоретическая и практическая значимость полученных результатов, а также представлены положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен обзор источников научной литературы, в котором наряду с описанием явления супергидрофобности и роли морфологии поверхности критически проанализированы основные методы супергидрофобизации, выявлены их преимущества и недостатки, обоснованы перспективы применения электрохимического осаждения композиционных покрытий с обработкой гидрофобизаторами для повышения механической прочности супергидрофобных покрытий.

Во второй главе приведены составы электролитов осаждения, методики нанесения покрытий и их дополнительной гидрофобизации, а также исследования основных морфологических, механических и коррозионных свойств получаемых покрытий.

Третья глава посвящена описанию основных экспериментальных результатов, полученных в диссертации. Анализируются морфология, краевой угол смачивания, механические свойства и коррозионная стойкость супергидрофобных покрытий на основе дендритов меди, супергидрофобных композиционных электрохимических покрытий на основе меди и хрома с различными дисперсными частицами (SiC , MoS_2 , $\text{Nb}_2\text{N}+\text{Ta}_2\text{N}$). Выявлена зависимость свойств, в том числе механической устойчивости, получаемого супергидрофобного покрытия от типа использованного гидрофобизатора. Осуществлено разделение ряда полярных и неполярных жидкостей на ситах с полученными композиционными электрохимическими покрытиями, обработанными различными гидрофобизаторами.

В четвертой главе дается обоснованное объяснение наблюдаемых явлений и формулируются практические рекомендации по использованию полученных результатов. Показано, что сравнительно устойчивые к механическим воздействиям супергидрофобные электрохимические покрытия удалось получить при осаждении медных и хромовых покрытий с частицами размером порядка десятков нанометров. Приведены оптимальные режимы осаждения, а также концентрации дисперсных частиц и добавок поверхности-активных веществ, введение которых в состав электролита является дополнительным положительным фактором для формирования супергидрофобных КЭП. В ходе промышленных испытаний сит с супергидрофобными КЭП $\text{Cu}-\text{MoS}_2$, $\text{Cr}-\text{Nb}_2\text{N}+\text{Ta}_2\text{N}$ подтверждена их высокая эффективность для фильтрации промышленных стоков, содержащих различные загрязнения маслами и топливами.

В заключении автором приведены обоснованные выводы по результатам представленной исследовательской работы.

Диссертация и автореферат оформлены согласно требованиям, предъявляемым к ним, и изложены ясным научным языком. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа Глухова Вячеслава Геннадьевича представляет собой логично выстроенное, завершенное научное исследование, посвященное установлению оптимальных условий формирования полимодальной шероховатости композиционных электрохимических покрытий на основе меди и хрома с последующей обработкой различными гидрофобизаторами для получения супергидрофобных покрытий с определенными физико-механическими и коррозионными свойствами, что позволило оценить перспективы практического применения созданных супергидрофобных КЭП для решения задач разделения полярных и неполярных жидкостей.

Оценка новизны полученных результатов. Соискателем в ходе выполнения диссертационной работы получены новые научные результаты, наиболее значимые из которых следующие.

Обосновано использование комплексного способа формирования супергидрофобных покрытий на основе композиционных электрохимических покрытий, полученных осаждением меди или хрома из электролитов-сусpenзий совместно с частицами дисперсной фазы (карбида кремния, дисульфида молибдена, нитридов ниобия и tantalа, оксида хрома (III) или диоксида кремния), которые не только упрочняют металлическую матрицу, но и являются основой для создания полимодальной шероховатости, обеспечивающей супергидрофобные свойства после нанесения гидрофобизатора.

На основе композиционных покрытий Cu-SiC, Cu-MoS₂, Cu-MoS₂/Cr, Cr-Nb₂N+Ta₂N, полученных электрохимическим осаждением с последующей обработкой гидрофобизатором (стеариновая и лауриновая кислота, 1-додекантиол, парафин и карнаубский воск), созданы супергидрофобные покрытия с краевым углом смачивания 155-162°, повышенными механической и коррозионной устойчивостью, которые могут быть использованы для получения супергидрофобных сит с высокой (94,5-99,9%) эффективностью разделения полярных и неполярных жидкостей.

Достоверность полученных результатов обусловлена применением комплекса апробированных методов электрохимического осаждения композиционных покрытий, механических и коррозионных испытаний покрытий, сканирующей электронной микроскопии, лазерной конфокальной

микроскопии, атомно-силовой микроскопии. Достоверность проведенных исследований подтверждается соответием результатов, полученных в работе, опубликованным в ведущих научных изданиях и корректно принятым допущениям. Общие выводы по диссертации, приведенные в заключении, отражают основные результаты исследований автора. Их обоснованность обеспечена использованием современных научных представлений по рассматриваемой проблематике и согласованностью полученных результатов.

Результаты диссертации изложены в 20 печатных работах, в том числе 4 статьях в научных изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science, Scopus и Chemical Abstracts; 16 тезисах докладов, получены 2 патента.

Практическая значимость диссертации и рекомендации по ее использованию.

Предложены физико-химические подходы к разработке процессов электрохимического формирования композиционных покрытий на основе металлической матрицы меди или хрома с внедренными в ходе электроосаждения наночастицами и последующей обработкой гидрофобизаторами, позволяющие получать механически и коррозионно устойчивые супергидрофобные покрытия. На их основе получены супергидрофобные сита, характеризующиеся высокой эффективностью разделения полярных и неполярных жидкостей, которые могут быть использованы как для удаления маслянистых примесей с поверхности воды, так и для регенерации углеводородных топлив, загрязненных влагой.

Результаты исследования, полученные в диссертационной работе, могут быть использованы в организациях, занимающихся исследованием явления супергидрофобности: ФГБУН Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН, Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»; ФГБУН Ордена Трудового Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН; ФГБОУ ВО РХТУ им. Д.И. Менделеева; ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»; ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет».

Общие замечания и вопросы по диссертационной работе:

При чтении диссертации и автореферата возникают следующие замечания и вопросы:

1. Сохранность супергидрофобных свойств покрытия в диссертации определяли по методу «зеркала». Представляется целесообразным дополнительное использование количественных критериев сохранности супергидрофобных свойств. Например, по изменению угла смачивания, как это было сделано в процессе коррозионных испытаний, когда постепенная деградация супергидрофобных свойств покрытия отслеживалась путём измерения углов смачивания. Кроме того, было бы полезным и информативным, наряду с СЭМ, использовать АСМ-метод для определения количественных параметров шероховатости получаемых покрытий, а также для подтверждения полимодальности морфологии.

2. В диссертации на с. 64 при описании супергидрофобных покрытий на основе дендритов автор отмечает, что «несмотря на развитую морфологию, ... они обладают существенным недостатком, связанным с особенностями их фрактального роста: на узком основании дендрита находятся его разветвлённые «ветви» (рис. 3.1.3), что приводит к низкой механической прочности покрытия. ... Отчасти решить эту проблему удалось за счёт укрепления дендритов осаждением тонкого компактного слоя меди...» Каким образом осаждение тонкого компактного слоя меди укрепляет дендриты?

3. С. 70: «... при осаждении использовались плотности тока, отвечающие электровосстановлению только ионов меди, т.е. выход по току меди равен 100%, то избыточная масса принадлежит частицам карбида кремния». Как подтверждено, что выход по току равен 100%?

4. На рис. 3.2.7 (с. 75) не приведены фотографии исходных медных образцов (до начала испытаний в камере соляного тумана) для сравнения.

5. На с. 123 в таблице 4.1 приведены оптимальные условия получения композиционных электрохимических покрытий с требуемой шероховатостью». Каковы параметры «требуемой» шероховатости?

Данные вопросы и замечания не снижают общей высокой теоретической и практической значимости выполненных Глуховым В.Г. исследований и могут быть использованы при развитии данного направления исследований.

Заключение

Диссертация Глухова Вячеслава Геннадьевича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится

решение актуальной научной задачи, имеющей существенное значение для разработки электрохимических технологий получения устойчивых супергидрофобных композиционных покрытий. Полученные автором результаты, выводы и рекомендации в полной мере обоснованы. По актуальности изученной проблемы, научной новизне, практической и теоретической значимости полученных результатов, их достоверности и обоснованности выводов диссертация Глухова Вячеслава Геннадьевича «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. Автор диссертации, Глухов Вячеслав Геннадьевич, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.9. Технология электрохимических процессов и защита от коррозии.

Отзыв на диссертацию обсужден и одобрен на заседании кафедры физической химии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет» (протокол № 1004-14 от 26.11.2025).

Отзыв составил:

Заведующий кафедрой физической химии ФГБОУ ВО «ВГУ»,
доктор химических наук (02.00.04 Физическая химия),
доцент



Козадеров Олег Александрович

Подпись Козадерова О.А. заверяю
Ученый секретарь
Ученого совета ФГБОУ ВО «ВГУ»



Лопаева Мария Артуровна