

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Кашина Вадима Валерьевича «Электрофизические и акустические свойства сенсорных покрытий на основе биообъектов и нанокремниевых материалов для нанoeлектронных и акустоэлектронных датчиков», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности

### 1.3.8 – Физика конденсированного состояния

Диссертационная работа Кашина Вадима Валерьевича выполнена по современной и актуальной тематике, носит междисциплинарный характер и основана на изучении свойств наносистем разной природы. Назначение изучаемых структур – создание сенсоров нового поколения, с уникальными характеристиками и объектами контроля.

В современной сенсорике наметилось несколько трендов:

- 1) Переход к гибкой тонкопленочным системам микронных толщин для носимых трекеров состояния;
- 2) Разработка встроенных датчиков с возможностью долговременной эксплуатации, в том числе внутри биологических систем;
- 3) Сверхчувствительные датчики микро-, фемтосодержаний биомолекул, в том числе химических маркеров нормальных и патогенных процессов для разработки систем контроля.

При этом главными условиями успешного продвижения и внедрения их в практику остаются чувствительность, селективность, быстродействие, долгое время «жизни», помехоустойчивость, доступность. В работе соискателя представлены поисковые и более системные исследования в этих направлениях.

Искусство работать на уровне молекул – это очень интересное направление и в практической реализации, и в перспективе применения.

*Актуальность*, научная новизна и особенно практическая значимость диссертационной работы оценивается по выбранным соискателем основным задачам и алгоритмам их решения на различных этапах исследования. В качестве основных задач исследования выбраны: 1) электронный транспорт в наноструктуре с одиночной молекулой белка-фермента глюкозооксидазы; 2) электропередача в биотопливном элементе на основе мембранных фракций микробов в матрице объемного нанокремниевых материалов; 3) разработка способа безконтактного определения электрофизических свойств тонких пленок оксида графена с применением акустоэлектронных технологий; 4) исследование свойств пленок оксида графена от влажности и процессов в них.

Для обоснования актуальности работы достаточно исследования в одной из указанных направлений, в работе соискателя таких направлений несколько. В связи с этим диссертационная работа В.В. Кашина является *актуальной* и в некотором роде пионерской.

*Научная новизна*, к сожалению, не выделена в работе и автореферате традиционно, поэтому осмелюсь предложить свою трактовку. На мой взгляд, вкладом в фундаментальную часть науки (новизна) является демонстрация и подтверждение эффектов электронного транспорта на уровне биомолекулы как эффекта специфической реакции с маркером биохимических процессов (на примере фермент глюкозооксидазы - глюкоза); реакции окисления спирта на мембранных фракциях не что иное как уникальный прототип нанобиотехнологий. Любые перспективные и прорывные технологии всегда начинаются с малого – с оценки, доказательства прин-



ципиальной возможности этих процессов. Именно эти два направления в работе показали мне принципиально новыми, важными и перспективными. При этом я не умоляю важности и других исследований соискателя, однако отношу их в большей степени к прикладным (практически значимым).

*Практическая значимость* исследования заключается в разработке принципиально новых подходов, пока разрозненных, по моделированию систем на уровне наноразмерных структур с автономным источником энергии, повышенными коэффициентами преобразования сигналов, вызванных изменениями среды, в том числе, в следствие биохимических реакций на уровне молекулы. Это реальный шаг к наносенсорам и молекулярным сенсорам.

Кроме формального перечисления сути работы отмечу, что эта работа подтверждает и доказывает, что нет пределу гибкости ума исследователя и соответственно, что ничего нельзя изучить до конца! Соискатель нашел и отстоял в работе свою нишу в разработках новых наносенсоров.

По формальным признакам работа структурирована по главам, их кластеризация и содержание соответствуют определенным задачам исследования и подчинены одной цели.

Далее представлю краткую характеристику и оценку отдельных частей работы, оставляя право обсуждения особенностей микроэлектроники коллеге-оппоненту и ведущей организации, обращая внимание на перспективу практического применения предлагаемых систем.

Диссертационная работа изложена на 128 стр., содержит 55 рисунков, 10 табл., состоит из введения, 3 глав, заключения с выводами, выстроена по темам.

В работе использованы современные методы исследования, надежность которых не вызывает сомнений: СЭМ, СТМ, АСМ, вольтамперометрия.

В обзоре литературы обосновывается выбор методов, способов, материалов и объектов исследования, вводятся понятия и термины, рассмотрены различные способы получения оксида графена (TRG). Обзор литературы достаточно полно освещает текущее состояние дел в вопросах, решению которых посвящена диссертация. Он содержит информативные таблицы, что способствует восприятию информации и хорошо ее структурирует.

Диссертация написаны хорошим языком, что свидетельствует о высокой квалификации диссертанта.

Отмечу разнообразие форм и объектов анализа, содержащих аналиты разной природы, но одинаково важных для определения быстрыми и доступными методами. Ценность вклада автора определяется новыми подходами к изучению структур на основе наноразмерных материалов.

Результаты работы и их обсуждения опубликованы в 8 статьях в журналах из списка ВАК, Scopus, в материалах и тезисах докладов на Международных и Всероссийских конференциях, широко апробированы в докладах.

*Достоверность основных результатов.* Аналитический обзор, экспериментальная часть, результаты исследований, их обсуждение, обоснование выводов, рекомендации выполнены на высоком научном уровне. Научные положения работы обоснованы. Применяемое оборудование соответствует современному уровню и решаемым задачам. Достоверность результатов определяется правильностью получения и обработки экспериментальных данных, апробацией на конференциях и в открытой научной печати.



Отмечу высокий уровень использованного оборудования, материалов и методов, критический анализ литературных источников по теме работы и смелость в выполнении ряда экспериментов с участием части или целого микроорганизма.

Полученные результаты имеют практическую значимость, представляют интерес для специалистов, работающих в области наносенсорики, анализа объектов окружающей среды, пищевых и биобъектов, а также в учебных, научных и производственных учреждениях, учебных центрах, в том числе, работающих в области сенсорных технологий – в Санкт-Петербургском, Московском, Казанском, Воронежском, Саратовском государственных университетах, Уральском государственном экономическом университете и др..

Задачи, поставленные в диссертации, выполнены полностью.

С точки зрения анонсирования практической направленности исследований соискателя сформировались вопросы, есть также общие замечания по диссертации и автореферату:

1. В автореферате отсутствуют выводы по работе в соответствии с положениями и задачами, поставленными в работе. Нет логичности и связанности материала, не описана экспериментальная часть. Автореферат написан очень небрежно, нарушены требования к оформлению рисунков, подписей, выбору языка изложения.
2. Небрежно применяются известная терминология, в частности заявляется о разработке «метода эквивалентной схемы Мейсона», а между тем автор предлагается весьма частное решение, детально не проработанное, универсальность и закономерности которого не раскрыты, поэтому следует говорить о частном решении – способе. Тестовые растворы – вероятно, подразумеваются стандартные растворы с известным составом и концентрацией аналита?
3. Какова повторяемость размеров зазоров в планарных наноэлектродах? Зависит ли время их отклика, «жизни», другие эксплуатационные характеристики от концентрации аналитов, присутствия других примесей?
4. Практически для всех датчиков: каков уровень шума, его вариабельности во времени?
5. Для чего и каким слоем хитозана покрыт биоматериал? Как он влияет на свойства модификатора?
6. Как Вы видите перспективу развития и применения биоанодаиз модифицированного ТРГ? Какое значение, для решения каких задач имеет установленный оптимум концентрации этанола на уровне 460 мг/л (10 мМ)? Для этого варианта решения продемонстрирован потенциал, но не обозначены направление и ограничения применения.
6. Чем обоснован выбор решения и изучения датчиков влажности, которые разработаны в разных вариантах уровня чувствительности и пределом детектирования? Где могут применяться Ваши разработки?
7. Насколько жизнеспособен подход по синтезу и обновлению электродов для широкого практического применения для живых систем и лаборатории?

Полный анализ диссертационной работы, автореферата соискателя, сопоставление их достоинств и недостатков, полученных новых знаний, практических рекомендаций, степени новизны, обсуждения вопросов с соискателем, позволяют сделать следующие выводы:

1. Обсуждение результатов и выводы по каждой главе согласуются с поставленными задачами и целью.
2. Содержание автореферата соответствует и отражает содержание диссертационной работы.



3. Материалы опубликованы в открытой печати в необходимом объеме, полно, в высоко рейтинговых научных изданиях.

4. В диссертации Кашина В.В. применены разнообразные современные методы и приборы, развиваются перспективные, малоизученные научные направления.

5. Содержание диссертации соответствует квалификационным требованиям паспорта работ по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния и уровню работ на соискание ученой степени кандидата наук.

Указанные замечания и вопросы не меняют принципиальной общей оценки работы и квалификации соискателя.

По актуальности, перспективе исследований, научной новизне и практической значимости диссертационная работа В.В. Кашина на тему «Электрофизические и акустические свойства сенсорных покрытий на основе биообъектов и нанокристаллических материалов для нанoeлектронных и акустоэлектронных датчиков» отвечает требованиям пунктов 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, как научно-квалификационная работа, в которой содержится решение задачи, имеющей значение в развитии теории и практики наносистем нового поколения, а ее автор, Кашин Вадим Валерьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

заведующая кафедрой

физической и аналитической химии, факультета экологии и химической технологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», доктор химических наук, профессор, профессор РАН

Татьяна Анатольевна Кучменко

22.09.2022 г.

Контактные данные:

тел.: +7(920)422-7725, e-mail: tak1907@mail.ru.

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

02.00.02 – Аналитическая химия

Адрес места работы:

394036, Воронеж, пр. Революции, 19, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», кафедра физической и аналитической химии

E-mail: [tak1907@mail.ru](mailto:tak1907@mail.ru).

Подпись Татьяны Анатольевны Кучменко заверяю:

Начальник УК

22.09.2022 г.



Ойцева О.Ю.