

ОТЗЫВ

официального рецензента на диссертационную работу

Елеуов М. А. на тему «Синтез и исследование пористых углеродных материалов и оксидов переходных металлов для электрохимического накопления энергии», предоставленную на соискание степени доктора философии (PhD) по направлению Физические и химические науки ГОП D090 – Физика («6D072300-Техническая физика»)/«8B05301-Прикладная и инженерная физика»)

№ п/п	Критерии	Соответствие критериям (подчеркнуть один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента (замечания выделить курсивом)
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) соответствует направлениям развития науки и/или государственным программам	1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам: 1) диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы); 2) диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы); 3) диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление).	Работа соответствует приоритетным направлениям развития материаловедения и энергетики и осуществлялась в рамках НИР и государственных программ: 1)AP05133792 – «Разработка и создание суперконденсаторов на основе нанопористых углеродных материалов, полученных из отходов растительного сырья» РГП «Институт проблем горения». (2018-2020); 2)NATO project – Valorization of biomass waste into high efficient materials for CBRN protection (reference G5636) (2020-2021); 3)AP05132875 – «Теоретическое и экспериментальное исследование излучательных процессов в наноструктурированных углеродсодержащих объектах». Satbayev University. (2018-2020); 4)AP08856683 – «Разработка гибридных суперконденсаторных электродов на основе

		наноструктурированных оксидов переходных металлов/графен/3D-пористый металл» РГП на ПХВ «ИПГ». (2020-2022) 5) AP14869581 – «Разработка рентабельного и масштабируемого метода синтеза графеноподобных структур из отходов биомассы для электрохимических накопителей энергии» РГП на ПХВ «ИПГ». (2022-2024)	
2.	Важность для науки	Работа <u>вносит</u> /не вносит существенный вклад в науку, а ее важность <u>хорошо раскрыта</u> /не раскрыта.	Работа вносит существенный вклад в развитие материаловедения и электрохимической энергетики, а её научная и практическая значимость раскрыта в полном объёме. В диссертации разработаны новые подходы к синтезу и модификации пористых углеродных материалов и гибридных электродных структур, установлены закономерности между условиями получения, структурно-морфологическими характеристиками и электрохимическими свойствами. Полученные результаты обладают как фундаментальной, так и прикладной ценностью и создают основу для дальнейших исследований и практического внедрения в системах накопления энергии.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) <u>высокий</u> ; 2) средний;	Уровень самостоятельности соискателя высокий, поскольку им самостоятельно разработаны

		3) низкий;	экспериментальные установки и методики, выполнены синтез и модификация материалов, проведён полный комплекс физико-химических и электрохимических исследований, осуществлён анализ и интерпретация полученных результатов, а также подготовлены научные публикации и патентные материалы. В рамках диссертационной работы соискателем также разработаны технологические системы для получения активированного углерода и CVD-синтеза углеродных материалов, которые были доведены до серийного производства и успешно внедрены в работу ряда научных коллективов.
		4) самостоятельности нет.	
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) <u>обоснована</u>; 2) частично обоснована; 3) не обоснована.	Актуальность диссертационного исследования обусловлена необходимостью разработки высокоэффективных и экологически безопасных материалов для современных систем электрохимического накопления энергии, а также соответствием темы приоритетным направлениям развития материаловедения и энергетики.
		4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации:	Содержание диссертационного исследования полностью отражает заявленную тему, а поставленные цели и задачи последовательно
		1) <u>отражает</u> ;	
		2) частично отражает;	

	3) не отражает.	реализованы и логически взаимосвязаны.
	4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации:	Цель и задачи диссертационного исследования полностью соответствуют заявленной теме и направлены на разработку, синтез, модификацию и исследование пористых углеродных и гибридных электродных материалов для электрохимических систем накопления энергии.
	1) <u>соответствуют</u> ;	
	2) частично соответствуют;	
	3) не соответствуют.	
	4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны:	Все разделы и положения диссертационного исследования логически взаимосвязаны: от анализа современного состояния проблемы и формулировки цели и задач — до проведения экспериментальных исследований, обсуждения результатов и обоснования выводов, что обеспечивает целостность и завершенность работы.
	1) <u>полностью взаимосвязаны</u> ;	
	2) взаимосвязь частичная;	
	3) взаимосвязь отсутствует.	
	4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями:	Предложенные автором новые решения, принципы и методы научно обоснованы, подтверждены результатами экспериментальных исследований, воспроизводимы и сопоставимы с лучшими известными аналогами, при этом продемонстрировали преимущество по ключевым структурно-морфологическим и электрохимическим характеристикам.
5. Принцип научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми?	Полученные в диссертационном

	1) <u>ПОЛНОСТЬЮ НОВЫЕ;</u>	
	2) частично новые (новыми являются 25-75%);	
	3) не новые (новыми являются менее 25%).	
	5.2 Выводы диссертации являются новыми?	исследовании научные результаты и выносимые на защиту положения являются новыми, поскольку впервые обоснованы и реализованы оригинальные подходы к синтезу и модификации пористых углеродных материалов и гибридных электродных структур, а также установлены новые закономерности между параметрами получения, структурными характеристиками и электрохимическими свойствами материалов.
	1) <u>ПОЛНОСТЬЮ НОВЫЕ;</u>	
	2) частично новые (новыми являются 25-75%);	
	3) не новые (новыми являются менее 25%).	
	5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:	Технические и технологические решения, предложенные в исследовательской работе, являются новыми и научно обоснованными, экспериментально подтверждены, обладают воспроизводимостью и демонстрируют практическую реализуемость и экономическую
	1) <u>ПОЛНОСТЬЮ НОВЫЕ;</u>	
	2) частично новые (новыми являются 25-75%);	
	3) не новые (новыми являются менее 25%).	

			целесообразность по сравнению с существующими аналогами.
6.	Обоснованность основных выводов	Все основные выводы <u>основаны</u> /не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research (квалитатив ресеч) и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам).	Все основные выводы тщательно аргументированы и опираются на представительный массив экспериментальных данных, полученных с применением современных методов исследования, а также на корректный анализ и сопоставление с результатами других авторов, что обеспечивает высокий уровень их научной достоверности.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: 7.1 Доказано ли положение? 1) <u>доказано</u>; 2) скорее доказано; 3) скорее не доказано; 4) не доказано; 5) в текущей формулировке проверить доказанность положения невозможно. 7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) <u>нет</u>; 3) в текущей формулировке проверить тривиальность положения невозможно. 7.3 Является ли новым? 1) <u>да</u>; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить новизну положения невозможно. 7.4 Уровень для применения:	<u>Положение 1.</u> Разработанная и внедренная установка с двойным реактором из нержавеющей стали AISI321 для термохимической активации биомассы и других углеродсодержащих прекурсоров, обеспечивающая воспроизводимый синтез графеноподобного пористого углерода электродного качества из биотеходов с удельной поверхностью 2800–3292 м²/г, удельной ёмкостью 197-263 Ф/г и кулоновской эффективностью не менее 99,4 % при плотности тока 1000 мА/г. 7.1 Доказано ли положение? <u>доказано</u>; Является ли тривиальным? <u>нет</u>; Является ли новым?

	1) узкий; 2) средний; 3) <u>широкий</u> ; 4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно.	<u>Да</u> ; Уровень для применения: <u>широкий</u> ; Доказано ли в статье? <u>Да</u> ; <u>Улеуов, М., Дaulbayev, C., Таурбеков, А., Abdissattar, A., Ebrahim, R., Купеков, S., ... & Baturzhan, K. (2021). Synthesis of graphene-like porous carbon from biomass for electrochemical energy storage applications. Diamond and Related Materials, 119, 108560. DOI:10.1016/j.diamond.2021.108560. (CiteScore: 6, Q2, Impact Factor: 4.3).</u> Патент № 5404 РК. Способ получения графена и устройство для его осуществления / <u>Елеуов М.А., Мансуров З.А., Таурбеков А.Т., Лесбаев Б.Т., Смагулова Г.Т., Приходько Н.Г. // – Опубл. 02.10.2020.</u>
	7.5 Доказано ли в статье? 1) <u>да</u> ; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно.	Положение 2. Электродный материал на основе графеноподобного пористого углерода, модифицированный гидроксидом никеля (9%Ni(OH) ₂ -GLRC), демонстрирующей удельную ёмкость 300 Ф/г при плотности тока 50 мА/г за счет псевдоёмкостного вклада. 7.1 Доказано ли положение? <u>Доказано</u> ; Является ли тривиальным?

		<u>нет</u>; Является ли новым? <u>да</u>; Уровень для применения: <u>широкий</u>; Показано ли в статье? <u>да</u>; <u>М. Yeleuov, C. Seidl, T. Temirgaliyeva, A. Taurbekov, N. Prikhodko, B. Lesbayev, F. Sultanov, C. Daulbayev, and S. Kumekov .</u> Modified Activated Graphene-Based Carbon Electrodes from Rice Husk for Supercapacitor Applications // Energies 2020, 13, 4943, P. 1–10.; DOI:10.3390/en13184943, (CiteScore: 3.86, Q3, Impact Factor: 3). Sultanov, F., Zhumasheva, N., Dangaliyeva, A., Zhaisanova, A., Baikalov, N., Tatykayev, B., <u>Yeleuov M., ... & Mentbayeva, A. (2024).</u> Enhancing lithiumsulfur battery performance with biomass-derived graphene-like porous carbon and NiO nanoparticles composites. Journal of Power Sources, 593, 233959. DOI:10.1016/j.jpowsour.2023.233959 (Q1 Web of Science, Impact Factor (2023): 8.41). <i>Положение 3.</i> Созданный трехмерный пористый токосъемник, предназначенный для гибридных электродов
--	--	--

		суперконденсаторов на основе СВД-графена и оксидов переходных металлов, полученный методом нанесения суспензии никеля с порошкообразующей добавкой на металлическую фольгу с последующим спеканием при 800 °С в атмосфере Ar/H₂ (95:5). Гибридный электрод, созданный на основе трехмерного пористого токосъемника с СВД-графеном и наноструктурированного оксида марганца, показал удельную емкость 297 Ф/г при плотности тока 250 мА/г с сохранением 98 % емкости после 5000 циклов заряд-разряд. 7.1 Показано ли положение? <u>доказано;</u> Является ли тривиальным? <u>нет;</u> Является ли новым? <u>да;</u> Уровень для применения: <u>широкий;</u> Показано ли в статье? <u>да;</u> USA patent. Ebrahim, Rabi, <u>Mukhtar Yelepuov,</u> and Alex Ignatiev. Porous solid oxide fuel cell anode with nanoporous surface and process for fabrication. Application No. 16/709,016. Date of Patent : Jan. 28, 2020; Патент № 6564 РК. Способ
--	--	--

			изготовления пористого токосъемника для гибридных суперконденсаторов / <u>Елеуов М.А.</u> Әбдісаттар Ә.Ә., Приходько Н.Г., Таурбеков А.Б.Т., Толынбеков А.Б. Ақарұлы К. // – Оңтүбл. 22.10.2021.
			Abdisattar, A., <u>Yeleuov, M.</u> , Daulbayev, C., Askaruly, K., Tolynbekov, A., Taurbekov, A., & Prikhodko, N. (2022). Recent advances and challenges of cuitent collectors for supercapasitors. Electrochemistry Communications, 107373. DOI:10.1016/j.elecom.2022.107373 (Web of Science: IF 4.7, Q1, и Scopus: Cite Score – 8.5, 86-й процентиль).
8.	Принцип достоверности.	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана:	Выбор методологии является обоснованным, а используемые методы исследования подробно описаны, адекватны поставленным целям и задачам и обеспечивают достоверность полученных научных результатов.
	Достоверность источников и предоставляемой информации	1) <u>да</u> ;	
		2) нет.	Результаты исследовательской работы получены с использованием современных методов научных исследований, а также методов обработки и интерпретации экспериментальных данных с применением компьютерных технологий, что обеспечивает их высокую достоверность, воспроизводимость
		1) <u>да</u> ;	
		2) нет.	

			и научную обоснованность.
	8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений подготовки по педагогическим наукам результаты доказаны на основе педагогического эксперимента):		Теоретические выводы, предложенные модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены результатами экспериментальных исследований, что свидетельствует об их научной обоснованности и достоверности.
	1) <u>да</u> ;		
	2) нет.		
	8.4 Важные утверждения <u>подтверждены</u> /частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.		Важные утверждения полностью подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу, включая публикации в ведущих международных рецензируемых изданиях, что обеспечивает высокий уровень научной обоснованности работы.
	8.5 Использованные источники литературы <u>достаточно</u> /не достаточно для литературного обзора.		Использованные источники литературы являются достаточноными для проведения полноценного и всестороннего литературного обзора и охватывают ключевые направления исследуемой научной области.
9.	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение:	Диссертационное исследование обладает значительным теоретическим и практическим значением. Теоретическая ценность работы заключается в развитии научных представлений о процессах синтеза, структуре и электрохимических свойствах пористых углеродных и гибридных
		1) <u>да</u> ;	
		2) нет.	

10.	Качество написания и		
		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике:	материалов для систем накопления энергии.
		1) <u>да</u> ;	Диссертационное исследование обладает высокой практической значимостью, а полученные результаты имеют реальную перспективу внедрения в практику при разработке и производстве электродных материалов для современных систем электрохимического накопления энергии.
		2) нет.	Практическая значимость подтверждается тем, что в рамках диссертационного исследования были разработаны технологические системы для получения активированного углерода и CVD-синтеза углеродных материалов, которые доведены до серийного производства и успешно используются многими научными группами, что свидетельствует о высокой степени внедряемости и востребованности полученных решений.
		9.3 Предложения для практики являются новыми:	Предложения для практики, сформулированные в диссертационном исследовании, являются новыми, научно обоснованными и ориентированными на реальное внедрение в сферу электрохимических систем накопления энергии.
		1) <u>полностью новые</u> ;	
		2) частично новые (новыми являются 25-75%);	
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	
	Качество академического письма:		Качество академического письма

	оформления	1) <u>Высокое</u> ;	высокое: работа изложена в научном стиле, логично структурирована, терминология используется корректно и последовательно.
		2) среднее;	
		3) ниже среднего;	
		4) низкое.	
11.	Замечания к диссертации	1. В исследовании приведены экспериментальные результаты, подтверждающие работоспособность разработанных подходов, однако сравнительный анализ проведён недостаточно полно. В частности, требуется более развернутое сопоставление результатов: – с коммерческими электродами материалами и токосъёмниками; – с лучшими мировыми аналогами; – с актуальными литературными данными по удельной ёмкости, удельной поверхности и стабильности при циклировании. Это позволило бы более убедительно обосновать преимущества разработанных методов и материалов в контексте современных научных достижений. 2. В аннотации представлены ключевые элементы разработанных установок для термохимической активации углеродсодержащих прекурсоров, обеспечивающих воспроизводимый синтез материалов. Однако в тексте рекомендуется более чётко разграничить: – какие из предложенных технических решений являются принципиально новыми; – какие представляют собой адаптацию или модификацию существующих методик; – какие относятся к оптимизации известных технологических подходов. Такое уточнение позволит более убедительно обосновать научную новизну работы, а также усилит аргументацию при сравнении разработанных установок с мировыми аналогами. 3. Рекомендуется более подробно обсудить влияние состава биомассы на характеристики получаемых углеродных материалов. В текущем описании исходного сырья (ореховая скорлупа, рисовая шелуха): – отсутствует анализ элементного состава биомассы (зольность, доля летучих компонентов); – не раскрыто, каким образом различия в химическом и минеральном составе исходного сырья отражаются на текстуре, пористой структуре и морфологии получаемого GLRC. 4. Недостаточная количественная оценка масштабирования технологий. В Аннотации подробно описан лабораторный опыт (3D-токосъёмники, активация биомассы). Однако: – отсутствуют инженерные параметры масштабирования; – требуется более детальная оценка воспроизводимости при увеличении объёма партии. Добавление таких данных укрепило бы раздел о практической значимости.	

		5. Кроме того, в аннотации указано наличие этапа CVD-модификации, однако параметры процесса раскрыты недостаточно подробно. В частности: – режимы CVD (температура, время, расход прекурсора, давление) представлены кратко и не позволяют воспроизвести процесс в полном объёме; – не обсуждается влияние основных параметров CVD на многослойность графена, уровень дефектности и адгезию графенового покрытия к 3D-структуре токопроводящего подложки. Более детальное описание данных аспектов повысило бы технологическую ясность методики и улучшило понимание механизмов формирования функционального покрытия. Несмотря на перечисленные корректирующие замечания, диссертационное исследование выполнено на высоком научно-методическом уровне, что подтверждается опубликованными рецензируемыми работами в международных журналах, индексируемых в Web of Science и Scopus, а также полученными патентами США и Республики Казахстан.
12.	Научный уровень статей докторанта по теме исследования (в случае защиты диссертации в форме серии статей официальные рецензенты комментируют научный уровень каждой статьи докторанта по теме исследования)	Представленные статьи докторанта выполнены на высоком научном уровне, соответствуют международным требованиям к рецензируемым публикациям и отражают системный, целенаправленный и самостоятельный характер исследований. Во всех работах использованы современные методы синтеза, физико-химической и электрохимической характеристики, а также корректные методы обработки и интерпретации экспериментальных данных. 1. Synthesis of graphene-like porous carbon from biomass for electrochemical energy storage applications Статья выполнена на высоком экспериментальном и методическом уровне. Предложен воспроизводимый способ получения graphene-like porous carbon из скорлупы грецкого ореха. Подтверждено формирование малослойного графена (5-7 слоёв), достигнута высокая удельная поверхность ($2800 \text{ m}^2/\text{g}$) и высокие электрохимические характеристики (263 Ф/г, $99,4\%$ кулоновской эффективности). Работа обладает высокой научной новизной и практической значимостью. 2. Modified Activated Graphene-Based Carbon Electrodes from Rice Husk for Supercapacitor Applications Статья отличается высокой научной обоснованностью. Получен activated graphene-based carbon с рекордно высокой удельной поверхностью ($3292 \text{ m}^2/\text{g}$). Экспериментально обоснована оптимальная модификация $9 \text{ мас. \% Ni(OH)}_2$, обеспечившая рост удельной ёмкости до 300 Ф/г. Работа имеет ярко выраженную прикладную направленность для суперконденсаторных технологий. 3. Recent advances and challenges of current collectors for supercapacitors Обзорная статья выполнена на высоком теоретико-аналитическом уровне. Проведён глубокий анализ мировых исследований в области токопроводящих для суперконденсаторов, систематизированы подходы

		и показаны ключевые проблемы и перспективы развития. Работа обладает высокой научно-методической ценностью.
		4. Enhancing supercapacitor performance through graphene flame synthesis on nickel sultent collectors and active carbon material from plant biomass Статья характеризуется высокой научной новизной за счёт применения пламенного синтеза графена непосредственно на никелевом токосъёмнике. Показана масштабируемость метода и высокая циклическая стабильность электродов (98% после 5000 циклов). Работа демонстрирует высокий уровень междисциплинарного подхода.
		5. Enhancing lithium-sulfur battery performance with biomass-derived graphene-like porous carbon and NiO nanoparticles composites Статья выполнена на очень высоком научном уровне. Предложена эффективная гибридная система для литий-серных аккумуляторов. Достигнуты выдающиеся электрохимические показатели (1519 мА·ч/г при 0,2С; деградация 0,091% за цикл; 568 мА·ч/г при 2С). Работа соответствует уровню ведущих мировых исследований в области Li-S батарей.
13.	Решение официального рецензента (согласно пункту 28 настоящего Типового положения)	Присудить степень доктора философии (PhD) или доктора по профилю

Официальный рецензент:

PhD, ассистент-профессор каф. аналит., коллоидной химии и тех. редких элементов, факультета химии и химической технологии КазНУ им. аль-Фараби зав. лаб. «Гидроэлектрометаллургические процессы» ЦФХМА КазНУ им. аль-Фараби



Атчабарова Ажар Айдаровна

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ