

Review
on the dissertation work of Yeleuov Mukhtar Auezovich
on the topic: "SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF POROUS CARBON AND
TRANSITION-METAL-OXIDES FOR ELECTROCHEMICAL ENERGY STORAGE
APPLICATIONS"
submitted for the degree of Doctor of Philosophy (PhD)
in specialty 6D072300 – "Technical Physics"

1. Evaluation of the relevance of the dissertation topic

The dissertation addresses a highly relevant and timely topic in the field of technical physics and electrochemical energy storage — the synthesis and investigation of porous carbon materials and transition-metal-oxides for supercapacitor electrodes. Given the global demand for sustainable and high-performance energy storage systems, particularly in connection with renewable energy integration, electric vehicles, and portable electronics, the research is well aligned with current scientific and technological priorities. The emphasis on biomass-derived graphene-like carbon and hybrid electrode architectures adds environmental and economic value to the study.

2. Scientific results within the framework of the requirements for the dissertation (clause 127, dated 31.03.11 "Rules for awarding academic degrees")

The dissertation presents a reproducible method for synthesizing graphene-like porous carbon from biomass, offering a sustainable route to high-performance electrode materials.

The electrochemical properties of the synthesized carbon were experimentally verified, demonstrating high capacitance and stability. A key innovation is the integration of hierarchical 3D current collectors, further modified with CVD graphene and MnO_2 , resulting in enhanced conductivity and energy storage performance.

The scientific findings are supported by publications in international peer-reviewed journals and protected by national and international patents, confirming the originality and practical relevance of the work.

3. The degree of validity and reliability of each scientific result (position), conclusions and findings of the applicant, formulated in the dissertation

The validity and reliability of the scientific results, conclusions, and findings are confirmed using systematic synthesis protocols, comprehensive physicochemical and electrochemical characterization methods (SEM, TEM, XRD, BET, Raman, CV, GCD, EIS), and the reproducibility of experimental data, including long-term cycling stability with capacity retention exceeding 98% after 5000 cycles. The consistency between the conclusions and obtained results, as well as the involvement of certified laboratories and multi-institutional collaboration, further reinforce the credibility of the research outcomes.

4. The degree of novelty of each scientific result (position), conclusions and findings of the applicant, formulated in the dissertation

The dissertation demonstrates a high degree of scientific novelty by developing a universal and reproducible method for synthesizing graphene-like porous carbon (GLPC) from various biomass types, including walnut shells and rice husk. The method utilizes thermochemical activation in a specially designed reactor, ensuring process purity, scalability, and consistency. This approach offers a sustainable and efficient platform for converting bio-waste into high-performance electrode materials.

A significant contribution of the research lies in confirming the electrochemical suitability of the synthesized GLPC through comprehensive characterization techniques, including SEM, TEM, XRD, BET, Raman spectroscopy, and electrochemical testing. The resulting materials

exhibit ultra-high specific surface area, optimized pore structure, and excellent cycling stability—features essential for next-generation supercapacitor applications.

Additional novelty is introduced through the chemical modification of GLPC with nickel hydroxide to enhance specific capacitance by combining electric double-layer and pseudocapacitive behavior. This hybridization reflects an innovative strategy in electrode design, resulting in improved electrochemical performance.

The dissertation further presents a novel three-dimensional porous nickel current collector with a hierarchical open-pore structure, fabricated via deposition of a nickel suspension with pore-forming agents and subsequent thermal treatment. This structure provides improved conductivity and mechanical integrity.

The current collector is then modified with a CVD-grown graphene layer and an electrodeposited layer of nanostructured MnO_2 , forming a hybrid electrode with superior ion/electron transport and electrochemically active surface area. The resulting architecture exhibits high specific capacitance and excellent cycling stability.

The originality and practical relevance of the research are confirmed by several patents, including one from the United States and two from Kazakhstan, covering the synthesis methods and electrode fabrication techniques.

Overall, the dissertation offers significant advancements in material design and integration for energy storage systems, contributing original knowledge and scalable solutions for electrochemical applications.

5. Theoretical and practical significance of the study

The theoretical significance of the dissertation lies in advancing fundamental understanding of the structure–property relationships in porous carbon materials and hybrid electrode architectures. By systematically studying graphene-like porous carbon synthesized from biomass and its subsequent modifications with metal oxides, the work reveals how micro- and mesoporous structures, surface chemistry, and composite interfaces influence electrochemical behavior. Additionally, the research explores the synergistic effects that arise in multi-component systems—particularly the integration of conductive carbon matrices with pseudocapacitive metal oxides and three-dimensional current collectors. These insights contribute to the growing body of knowledge in materials science and electrochemistry, especially in relation to designing electrodes with enhanced performance for supercapacitor applications.

From a practical standpoint, the dissertation offers viable, scalable methods for producing high-performance electrode materials using low-cost, renewable resources such as agricultural waste. The use of a specially designed activation reactor, chemical vapor deposition (CVD), and electrodeposition techniques ensures that the materials can be synthesized with high reproducibility and tailored properties. This approach aligns with global trends in green chemistry and sustainable technology. Moreover, the development of hybrid electrodes with improved specific capacitance, energy density, and cycling stability supports the advancement of next-generation energy storage devices. These include supercapacitors for use in electric vehicles, portable electronics, and grid stabilization systems. The successful demonstration of key technologies and the protection of core methods by patents also underscore the industrial relevance and commercialization potential of the results.

6. Completeness of published dissertation materials in print

The dissertation is well-supported by a comprehensive set of scientific publications and patents that fully reflect the scope and results of the research. A total of 11 scientific papers have been published, including 5 articles in internationally recognized journals indexed in Web of Science and Scopus, demonstrating the global relevance and scientific rigor of the work.

Additionally, 3 articles were published in journals recommended by the Committee for Quality Assurance in the Field of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, fulfilling national academic requirements.

The author has also secured 3 patents, including one granted in the United States, which confirms the originality and applied value of the developed methods and technologies. The combination of peer-reviewed publications and patented innovations ensures the completeness and public accessibility of the dissertation's main findings.

7. Comments and suggestions on the dissertation:

The dissertation demonstrates a high level of scientific and methodological quality, with clear strengths in its interdisciplinary approach, combining materials science, surface engineering, and electrochemistry. The research is well-balanced, integrating theoretical analysis, experimental validation, and practical application. The analytical methods used are comprehensive and appropriate, and the results show a high degree of reproducibility, lending credibility to the conclusions drawn.

At the same time, several aspects could be further improved:

-some sections of the dissertation, particularly those describing scientific novelty, would benefit from more concise and structurally clear formulations to enhance readability and precision.

-additionally, while the experimental part is well-executed, the dissertation would be strengthened by a more detailed quantitative assessment of the economic feasibility of scaling the synthesis processes—especially for cost-intensive components such as Ni-based 3D current collectors and CVD graphene layers.

-finally, providing a comparative analysis between the developed materials and existing commercial analogues in terms of cost-to-performance ratio would further highlight the practical advantages and competitiveness of the proposed technologies.

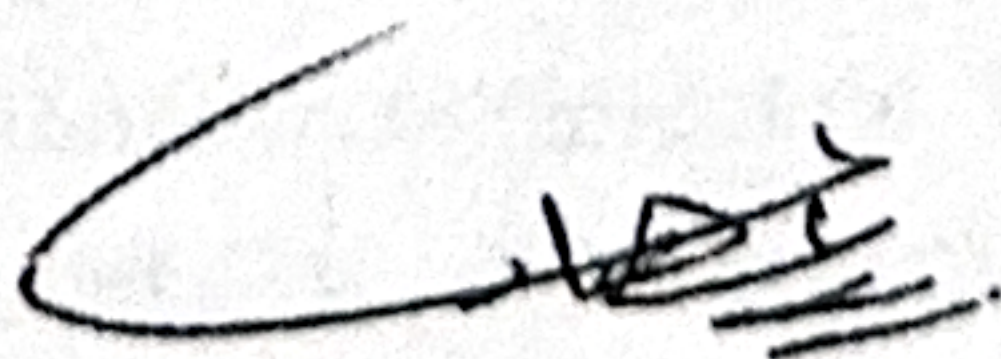
Overall, these suggestions are minor and do not diminish the scientific and practical value of the work, which meets the requirements for a PhD dissertation and offers a strong foundation for further research and industrial application.

The dissertation titled "Synthesis And Investigation Of Porous Carbon And Transition-Metal-Oxides For Electrochemical Energy Storage Applications" represents a completed and well-structured scientific study that includes elements of novelty, theoretical contribution, and practical relevance. The applicant has obtained significant experimental results that may serve as a foundation for the development of high-performance electrode materials for supercapacitors.

The dissertation meets the established criteria for the award of the Doctor of Philosophy (PhD) degree, and the author merits the conferment of this academic degree in the specialty 6D072300 – Technical Physics, subject to addressing the aforementioned remarks.

Therefore, the dissertation of Yeleuov M.A. is recommended for submission to the Dissertation Council for further consideration under the specialty 6D072300 – "Technical Physics".

International scientific consultant:
Doctor of Philosophy (PhD),
Senior Research Scientist
Department of Physics,
University of Houston



Rabi Ebrahim

Отзыв

на диссертационную работу Елеуова Мухтара Ауэзовича
на тему: **«СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРИСТЫХ УГЛЕРОДНЫХ
МАТЕРИАЛОВ И ОКСИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ»**
представленную в рамках соискания ученой степени доктора философии (PhD) по
специальности 6D072300 - «Техническая физика»

1. Оценка актуальности темы диссертации

Диссертационная работа посвящена актуальной и перспективной теме в области технической физики и электрохимических систем накопления энергии - синтезу и исследованию пористых углеродных материалов и оксидов переходных металлов для применения в качестве электродов суперконденсаторов. Учитывая глобальный спрос на устойчивые и высокоэффективные энергонакопительные системы, особенно в контексте интеграции возобновляемых источников энергии, развития электромобилей и портативной электроники, данное исследование в полной мере соответствует актуальным научным и технологическим приоритетам. Особое внимание к графеноподобному углероду, полученному из биомассы, а также разработке гибридных архитектур электродов придает исследованию дополнительную экологическую и экономическую значимость.

2. Научные результаты, соответствующие требованиям к диссертации (пункт 127 от 31.03.2011 «Правил присуждения ученых степеней»)

В работе представлен воспроизводимый метод синтеза графеноподобного пористого углерода из биомассы, обеспечивающий устойчивый путь к получению высокоэффективных электродных материалов.

Экспериментально подтверждены электрохимические свойства синтезированного углерода, продемонстрировавшего высокую удельную емкость и стабильность. Ключевым нововведением является интеграция иерархических трёхмерных токоприёмников, дополнительно модифицированных CVD-графеном и MnO_2 , что позволило существенно повысить проводимость и эффективность накопления энергии.

Научные результаты подтверждены публикациями в международных рецензируемых журналах и защищены национальными и международными патентами, что свидетельствует об оригинальности и прикладной значимости выполненного исследования.

3. Степень обоснованности и достоверности каждого научного результата (положения), выводов и заключений соискателя, сформулированных в диссертации

Обоснованность и достоверность научных результатов, выводов и заключений обеспечены использованием систематизированных протоколов синтеза, а также применением комплекса современных методов физико-химической и электрохимической характеристики, (СЭМ (SEM), ПЭМ (TEM), РСА (RXD), БЭТ (BET), рамановскую спектроскопию (Raman), ЦВА (CV), гальваностатическое зарядание/разрядание (GCD) и ЭИС (EIS)), а также воспроизводимость экспериментальных данных, включая долговременную стабильность при циклировании с сохранением ёмкости более 98% после 5000 циклов. Согласованность между экспериментальными результатами и выводами, а также участие сертифицированных лабораторий и многоотраслевое сотрудничество дополнительно подтверждают достоверность полученных научных данных.

4. Степень научной новизны каждого научного результата (положения), выводов и заключений соискателя, сформулированных в диссертации

Диссертация демонстрирует высокий уровень научной новизны, в частности - за счёт разработки универсального и воспроизводимого метода синтеза графеноподобного пористого углерода (ГППУ) из различных видов биомассы, таких как скорлупа грецкого

ореха и рисовая шелуха. Метод основан на термохимической активации в специально разработанном реакторе, что обеспечивает высокую чистоту процесса, его масштабируемость и стабильность. Предложенный подход открывает устойчивую и эффективную платформу для преобразования биоотходов в материалы с высоким потенциалом для энергонакопления.

Значительным вкладом исследования является подтверждение электрохимической пригодности синтезированного ГППУ с помощью комплексных методов характеристики, включая СЭМ, ПЭМ, РСА, БЭТ, рамановскую спектроскопию и электрохимические испытания. Полученные материалы обладают сверхвысокой удельной площадью поверхности, оптимизированной пористой структурой и высокой стабильностью при циклировании — ключевыми характеристиками для применения в суперконденсаторах нового поколения.

Дополнительная новизна достигается за счёт химической модификации ГППУ гидроксидом никеля, что позволяет повысить удельную ёмкость путём сочетания эффектов двойного электрического слоя и псевдоемкостного поведения. Такая гибридизация отражает инновационный подход к проектированию электродов и приводит к улучшению электрохимических характеристик.

В диссертации также представлен новый трёхмерный пористый никелевый токоприёмник с иерархической структурой открытых пор, полученный методом осаждения суспензии никеля с порообразующими добавками и последующей термической обработкой. Такая структура обеспечивает улучшенную электропроводность и механическую прочность.

Далее токоприёмник модифицируется слоем графена, синтезированного методом CVD, и электроосаждённым слоем наноструктурированного MnO_2 , формируя гибридный электрод с высокой ионной и электронной проводимостью, а также увеличенной электрохимически активной поверхностью. Полученная архитектура демонстрирует высокую удельную ёмкость и отличную стабильность при циклировании.

Оригинальность и практическая значимость работы подтверждаются рядом патентов, включая один патент США и два патента Республики Казахстан, охватывающих как методы синтеза, так и технологии изготовления электродов.

В целом, диссертация представляет собой значительный вклад в разработку и интеграцию материалов для систем накопления энергии, предлагая оригинальные научные результаты и масштабируемые решения для практических электрохимических задач.

5. Теоретическая и практическая значимость исследования

Теоретическая значимость диссертации заключается в углублении фундаментального понимания взаимосвязи между структурой и свойствами пористых углеродных материалов и гибридных архитектур электродов. Систематическое изучение графеноподобного пористого углерода, полученного из биомассы, и его модификации оксидами металлов позволяет установить, как микропористая и мезопористая структура, химия поверхности и свойства интерфейсов в композитах влияют на электрохимическое поведение. Кроме того, исследование раскрывает синергетические эффекты, возникающие в многокомпонентных системах, особенно при сочетании проводящих углеродных матриц с псевдоемкостными оксидами переходных металлов и трёхмерными токоприёмниками. Эти выводы способствуют расширению научных знаний в области материаловедения и электрохимии, особенно применительно к разработке электродов с улучшенными характеристиками для суперконденсаторов.

С практической точки зрения, диссертация предлагает жизнеспособные и масштабируемые методы получения высокоэффективных электродных материалов с

использованием недорогих возобновляемых ресурсов, таких как сельскохозяйственные отходы. Применение специально разработанного реактора для активации, методов химического осаждения из газовой фазы (CVD) и электроосаждения обеспечивает синтез материалов с высокой воспроизводимостью и контролируемыми свойствами. Такой подход соответствует мировым тенденциям в области зелёной химии и устойчивых технологий. Кроме того, разработка гибридных электродов с улучшенными показателями удельной ёмкости, плотности энергии и стабильности при циклировании способствует развитию накопителей энергии. В их число входят суперконденсаторы, предназначенные для использования в электромобилях, портативной электронике и системах стабилизации энергосетей. Успешная демонстрация ключевых технологических решений и патентная защита основных методик подчёркивают промышленную значимость и коммерческий потенциал полученных результатов.

6. Полнота опубликованных материалов диссертации

Диссертация подкреплена обширным набором научных публикаций и патентов, в полной мере отражающих объем и результаты проведённого исследования. В общей сложности опубликовано 11 научных работ, включая 5 статей в международно признанных журналах, индексируемых в базах Web of Science и Scopus, что подтверждает глобальную актуальность и высокий научный уровень выполненной работы.

Дополнительно опубликованы 3 статьи в журналах, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Республики Казахстан, что соответствует национальным академическим требованиям.

Автором также получены 3 патента, включая один, выданный в Соединённых Штатах Америки, что свидетельствует об оригинальности и прикладной значимости разработанных методов и технологий. Сочетание рецензируемых публикаций и защищённых инноваций обеспечивает полноту, достоверность и публичную доступность основных результатов диссертационной работы.

7. Комментарии и предложения по диссертации

Диссертация отличается высоким уровнем научной и методологической проработки. Её несомненными достоинствами являются междисциплинарный подход, объединяющий материаловедение, технологию поверхностей и электрохимию. Исследование отличается сбалансированностью - успешно интегрированы теоретический анализ, экспериментальная проверка и практическое применение. Используемые аналитические методы являются обоснованными и всесторонними, а полученные результаты демонстрируют высокую воспроизводимость, что повышает достоверность сделанных выводов.

Тем не менее, ряд аспектов может быть улучшен:

- Некоторые разделы работы, в частности, описывающие научную новизну, могли бы быть изложены более лаконично и структурированно, что улучшило бы восприятие текста и точность формулировок.

- Экспериментальная часть, хотя и выполнена на высоком уровне, выиграла бы от более детальной количественной оценки экономической целесообразности масштабирования предложенных процессов синтеза - особенно в отношении затратных компонентов, таких как трёхмерные никелевые токоприёмники и графеновые покрытия, полученные методом CVD.

- Дополнительный сравнительный анализ разработанных материалов и существующих коммерческих аналогов по критерию «стоимость-эффективность» позволил бы наглядно продемонстрировать практические преимущества и конкурентоспособность предлагаемых решений.

В целом, указанные замечания носят частный и рекомендательный характер и не умаляют научной и прикладной ценности диссертационной работы, которая соответствует установленным требованиям к диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD) и служит прочной основой для последующих исследований и возможной промышленной реализации результатов.

Диссертационная работа на тему «Синтез и исследование пористых углеродных материалов и оксидов переходных металлов для электрохимических накопителей энергии» представляет собой завершённое и хорошо структурированное научное исследование, содержащее элементы научной новизны, теоретического вклада и практической значимости. Соискателем получены существенные экспериментальные результаты, которые могут стать основой для разработки высокоэффективных электродных материалов для суперконденсаторов.

Диссертация соответствует установленным требованиям, предъявляемым к работам на соискание степени доктора философии (PhD), и автор заслуживает присуждения указанной степени по специальности 6D072300 - Техническая физика, при условии устранения изложенных выше замечаний.

В связи с этим диссертационная работа Елеуова М.А. рекомендуется к представлению в диссертационный совет для дальнейшего рассмотрения по специальности 6D072300 - «Техническая физика».

Международный научный
консультант:

Доктор философии (PhD), старший
научный сотрудник кафедры физики
Хьюстонского университета

/подпись/

Раби Эбрахим