**Краткая информация о проекте грантового финансирования научных исследований молодых ученых на 2021-2023 годы**

Тема проекта: ***AP09057909 «Разработка методов получения композитных электродов на основе углеродных наноматериалов без добавления полимерных связующих для применения в электрохимических источниках хранения энергии»***

***Актуальность****:* Хранение электрической энергии стало одним из основных факторов устойчивого развития общества XXI века. Разработка новых методов изготовления устройств хранения электрической энергии c высокими удельными характеристиками, таких как батареи и электрохимические конденсаторы является актуальной задачей в мировом масштабе. Идея данного проекта направлена на использование уникального подхода для создания электрохимических устройств хранения энергии путем применения новой нанокомпозитной системы на основе углеродных наноматериалов, улучшающих характеристики электродов.

Традиционный способ изготовления электрода включает смесь активного материала, наполнителей, связующих с массовым соотношением: 80%, 10%, 10% и токоприемников. Полимеры обычно добавляют в качестве связующего к активному материалу для образования пригодного для использования электрода. Из-за изолирующей природы полимерных материалов для увеличения электропроводности электрода добавляют различные формы проводящих углеродных материалов. Основная цель использования металлического коллектора - снизить электрическое сопротивление электрохимического конденсатора. Известно, что если сильноточные коллекторы заменить более легкими материалами, емкость конденсатора может быть увеличена, поскольку удельная емкость зависит только от веса активного материала.

Кроме того, неактивные изоляционные свойства полимера приводят к уменьшению площади поверхности и увеличению сопротивления устройств. Поэтому поиск новых материалов для увеличения емкости электродов, а также разработка более эффективного способа их изготовления менее сложным и недорогим способом является актуальной задачей. Активированный уголь - это материал, который широко используется в EDLC из-за высокой удельной поверхности около 1000-3500 м2/г и пористой структуры. УНТ благодаря своей электропроводности и структурной особенности, позволяющей создавать самонесущие трехмерные матрицы, могут служить многообещающим материалом для замены полимерных связующих и удерживаемых наполнителей. Улучшенный контакт с емкостными частицами активированного угля, которые предлагают УНТ, открывает возможность разработки толстых электродов, которые более практичны в устройствах с повышенной удельной плотностью энергии.

Конденсаторные электроды, основанные на принципе двойного электрического слоя, обладают сверхвысокой удельной мощностью и длительным сроком службы, но их дальнейшее практическое применение ограничено низкой плотностью энергии. Псевдоконденсаторы, которые накапливают энергию за счет окислительно-восстановительных реакций, имеют более высокую плотность энергии. Недавние исследования продемонстрировали успешное использование Ni(OH)2 в псевдоконденсаторах из-за их низкой стоимости и наличия в различных морфологиях. Однако низкая проводимость ограничивает его широкое использование в качестве электродов псевдоконденсатора. УНТ можно использовать для увеличения электропроводности электродов на основе Ni(OH)2.

***Цель проекта:*** разработка методов получения композитных электродов электрохимических источников хранения энергии, обладающих высокими удельными характеристиками на основе углеродных наноматериалов, АУ полученных из растительного сырья и УНТ, без добавления полимерных связующих материалов.

***Ожидаемые результаты:*** В результате проведённых исследований будет разработан метод получения гибкого, композитного электрода на основе углеродных наноматериалов без добавления полимерных связующых и других наполнителей.

Разработка метода изготовления эффективного суперконденсатора создаст предпосылки для дальнейшей коммерциализации полученных научных результатов.

Социальный эффект при реализации данного проекта будет обусловлен созданием инфраструктуры, обеспечивающей развитие и специализацию участников программы и возможность создания новых рабочих мест с привлечением молодых ученых. Внедрение разработанной технологии будет способствовать повышению уровня знаний и подготовке высококвалифицированных специалистов.

Разработка и создание суперконденсаторов отечественного производства, не уступающих по характеристикам зарубежным аналогам, а в некоторых вопросах, их превосходящих, позволит освоить и внедрить инновационные технологии в Казахстане в области энергетики и новых технологий.

***Достигнутые результаты:*** В настоящее время отработана универсальная технология изготовления активированных углей (АУ) из различных источников сырья, которая позволит обеспечить максимальные значения электроэнергетических характеристик для суперконденсатора. Были успешно синтезированы АУ с высокой удельной поверхностью из отходов агропромышленности различного происхождения в виде абрикосовых косточке (АК), скорлупы грецкого ореха (СГО), рисовой шелухи (РШ), шелухи семечек (ШС) и свекловичного жома (СЖ).

Проведены исследования морфологии и элементного состав активированных углей. Топографические характеристики были изучены методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и энерго-дисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДРС). Результаты исследования морфологии поверхности всех образцов показали, что все АУ обладают пористой, шероховатой структурой и содержат частицы разного диаметра. По данным снимков сканирующей электронной микроскопии и энерго-дисперсионного анализа можно заключить, что полученные угли имеют характерную морфологию поверхности, заданную исходным сырьем, и имеют развитую структуру с большим количеством как микро- так и мезопор. Все образцы АУ имеют неупорядоченную структуру, содержат частицы различной формы и диаметра. Размеры частиц АУ на основе РШ более крупнее чем размеров частиц АУ из АК, СГО, СЖ или СС. Образец АУ, полученный из РШ, имеет распределение частицы по размеру диаметром более 500 мкм. Размер частицы например АУ на основе АК в среднем 250 мкм. Для емкостных частиц, диаметр имеет решающее значение, поскольку матрица углеродных нанотрубок (УНТ) не может поддерживать электриче-скую проводимость внутри каждой емкостной частицы. Элементный анализ показывает, что все образцы состоят из углерода более 85 %, содержат небольшое количество кислорода ~7 %, а так же примеси таких элементов как железо или кремний. Наличие незначительного количества примеси обусловлено методикой получения активированных углей в стальном реакторе и степенью дислоцирования.

Установлено, что гибридные электроды с более мелкими частицами показывают более высокую удельную емкость и быстродействие, чем электроды с более крупными частицами. По этому все образцы АУ были просеяны через сито (марка:ОNE MVS-1) для разделения на точные фракции по размеру. Сито имеет 3 части с различным размером: 75 мкм, 53 мкм, 25 мкм и имеет режим регулируемого автоматического встряхивания. После просеивания все образцы AУ были разделяю на разные размеры в диапазоне, мкм: >100; 100-75; 75-53; 53-25 и < 25. Были представлены сведения о гранулометрическом составе всех полученных АУ. Установлено, что образцы АК содержат частицы диаметром 55 мкм и менее.Количество частиц диаметром 55 мкм больше, чем частиц меньшего диаметра. Распределение частиц по размеру в трех разных точках образца РШ было аналогичным. Объемное соотношение частиц СГО и ШС в разных точках порошка одинаково, это означает, что частицы большего и меньшего размера равномерно распределены по объему порошка. Наибольшее объемное содержание в образце АУ на основе СЖ показали частицы диаметром более 55 мкм.Было установлено, что обработка ультразвуком из-за энергии кавитации может разрушить и разбить частицы АУ. Чтобы определить влияние обработки ультразвуком, образцы АУ диспергировали в этаноле и обрабатывали в течение 10, 30, 60 и 30 + 30 мин (30 мин обрабатывали ультразвуком, затем флакон встряхивали и обработали ультразвуком 30 мин). Было утсановленно, что диаметр частиц АУ после обработки ультразвуком в ванне уменьшился, объемное соотношение частиц с диаметром менее 10 мкм превышает количество частиц с диаметром более 100 мкм. Это означает, что процесс встряхивания во время обработки необходим для получения хорошо распределенных частиц меньшего диаметра.

Установлено, что на всех образцах АУ есть два дифракционных пика, расположенных в диапазонн 2 theta = 15-30 и 40-60, что свидетельствует о наличии как аморфного так и графитизированного углерода, который скорее всего произвольно уложен углеродными массами. Во всех образцах были обнаружены пики, свидетельствующие о примеси для ионов железа и FeN0.0324. Так же у образцов скорлупы грецкого ореха (СГО) и абрикосовой косточки (АК) обнаружены пики двухвалентного оксида железа (Fe3О4). Установлено, что в дифракционном спектре полученных АУ грань микрокристаллического кристалла (002) проявляется при 2 theta = 22,6, по отношению ко всем образцам с разной интенсивностью, угол дифракции кристаллической грани у всех АУ имеет уникальные для каждого сырья характеристики.РАМАН спектроскопия поверхности образцов АУ показала наличье графеноподобных структуры. В результате сравнения соотношения пиков IG / I2D и ID / IG для всех образцов, обнаружено увеличение количества графеновых слоев у образца на основе СЖ до 5-7 слоев. В случае образца на основе СГО (ID / IG ≈ 0.66) количество графеновых слоев схоже с другими образцами, но дефектность углеродной структуры стала выше в два раза. Самое высокое значение дефектности углеродной структуры показал образец на основе рисовой шелухи (РШ) ID/IG = 0,87, что может свидетельствовать о неупорядоченности и деформированной морфологической структуры графеновых слоев находящихся в составе АУ. Наличие большого количества слоев графена и их дефектность может быть обусловлено параметрами исходного сырья, заданными природой. Согласно результатам расчета низкотемпературной адсорбции азота по методу БЭТ, образцы АУ имеют удельную площадь от 1474 м2/г до 2584 м2/г и объем мезопор 50-60 см3/г.АУ на основе АК - 2464 м2/г, АУ на основе РШ - 1788 м2/г, АУ на основе СГО - 2584 м2/г, АУ на основе СЖ – 1474 м2/г, АУ на основе ШС - 1740 м2/г. Для всех образцов был проведен термогравиметрический (ТГ) анализ. Установлено, что для всех исходных образцов ТГ кривые характеризовались изгибом в диапазоне температур ~30-100 °C, связанным с удалением влаги. Установлены значения начала потери (Ti), максимальной скорость потери массы (Tmax) и конец термической деструкции (Tot) для всех источников исходного сырья 79,9-202,6, 203,5-352,6 и 353,1-507,1 °C для СЖ; 65,7-225,3, 226,4-343,4 и 344,5-517,3 ° C для СС; 75,4-224,8, 225,1-375,8 и 376,1-524,4 ° C для СГО; 68,7-257,3, 258,7-376,7 и 377,8-506,7 °C для РШ; 70,7-260,1, 261,3-380,4 и 381,6-528,6 °C для АК, соответственно. Установлен порядок термостабильности: СЖ> СГО>ШС> РШ> СГО. Анализ образцов методом ДСК указывает на появление экзотермических пиков у всех исходных биомасс. Экзотермические пики можно отнести к сложным и различным химическим реакциям, участвующим во время термического разложения экстрактивных веществ.

Таким образом, в результате выполненных работ была разработана и отработана технология и методы изготовления АУ с регулируемыми морфологическими свойствами для разработки суперконденсаторов на основе УНТ. Предполагается, что полученные материалы будут иметь высокую эффективность при изготовлении суперконденсаторов без применения полимерных связующих для применения в электрохимических источниках хранения энергии.

***Исследовательская группа***

1. Атаманова Т.С., внс, PhD, руководитель проекта. Author ID – 57192087575, Researcher ID – [N-6990-2019](https://publons.com/researcher/N-6990-2019/" \o "Copy and share this profile's URL), ORCID – [https://orcid.org/0000-0001-9811-8207](https://www.scopus.com/redirect.uri?url=https://orcid.org/0000-0001-9811-8207&authorId=57192087575&origin=AuthorProfile&orcId=0000-0001-9811-8207&category=orcidLink%22" \t "_blank). Индекс Хирша – 3.
2. Атаманов М.К., внс, PhD, ответ исполнитель. Author ID – 57191750156, Researcher ID – [AAS-2325-2020](https://publons.com/researcher/AAS-2325-2020/" \o "Copy and share this profile's URL), ORCID – https://orcid.org/0000-0003-3028-481X. Индекс Хирша – 3.
3. Елеуов М.А., снс, PhD докторант. Author ID – 57210911341, ORCID – https://orcid.org/**0000-0001-7488-7431**. Индекс Хирша – 6.
4. Наурызбаева Г.М., нс, PhD докторант. Author ID – 57210281506, Researcher ID – [N-9661-2017](https://publons.com/researcher/N-9661-2017" \t "_blank), ORCID –https://orcid.org/0000-0001-6213-0474. Индекс Хирша – 1.
5. Дмитриев Т.П., нс, PhD докторант. Author ID – 57194077136, Researcher ID – [L-7135-2015](https://publons.com/researcher/L-7135-2015/" \o "Copy and share this profile's URL). Индекс Хирша – 1.
6. Аскарулы К, нс, PhD докторант. Author ID – 57211404041, Researcher ID – [K-4851-2018](https://publons.com/researcher/K-4851-2018/" \o "Copy and share this profile's URL), ORCID – https://orcid.org/0000-0002-8998-0409. Индекс Хирша – 2.
7. Әбдicаттар Ә.Ә., инж., магистрант, исполнитель. Author ID – 57226819581.