3. Тема проекта: ***AP09259890 «Разработка гибридных электрохимических конденсаторов высокой удельной энергоёмкости с окислительно-восстановительными электролитами на основе экологически безопасных йодидов и нанопористых углеродных электродов»***

***Актуальность:*** Проект направлен на разработку высокоемкого окислительно-восстановительного электрода на основе углерода/йодида для применения в накопительных/емкостных технологиях. Для этого ряд углеродных материалов с определенной пористой структурой будет исследован на предмет накопления йода в водных электролитах на основе йодида щелочного металла с высокой проводимостью. Эти исследования помогут установить корреляцию между размером пор углерода и размером йодидов/полииодидов и разновидностей йода, которые образуются на границе раздела электродов. Емкостные технологии, в частности гибридные электрохимические конденсаторы, будут оставаться в центре внимания в рамках этого проекта, где разработанный окислительно-восстановительный электрод может быть применен с специально разработанным электродом с двойным электрическим слоем (ДЭС), имеющим исключительно высокую удельную поверхность для суперконденсатора большой мощности.

Ряд усовершенствованных шаблонных углеродов, имеющих взаимосвязанные поры с адаптированной архитектурой, будет разработан из органических предшественников с помощью передовых методов синтеза шаблонов (так называемый «нанолитейный») и/или с последующей оптимизированной процедурой активации. Эти угли будут использоваться в качестве электродов для изучения иммобилизации полииодидов и молекулярного йода современными физико-химическими методами, включая низкотемпературную адсорбцию-десорбцию азота, рамановскую спектроскопию, терогравиметрию в сочетании с масс-спектрометрией и электрохимические методы insitu. Различный размер пор, а также поверхностные функциональные группы углеродных электродов могут играть важную роль в поглощении йода/йода и наноконфайнментации во время электрохимического заряда/разряда в водных электролитах. Кроме того, будет исследовано влияние противоионов (щелочных катионов, Li+, Na+, K+) на емкостные характеристики электрода батареи.

***Цель проекта:*** исследование и разработка нового гибридного конденсатора на основе окислительно-восстановительного электрода на основе углерода/йодида и электрода с двойным электрическим слоем (ДЭС) для применения в передовых технологиях накопления энергии.

***Ожидаемые результаты:*** Ряд самодельных углеродных материалов с порами четко определенной геометрии и фиксированным содержанием поверхностных функциональностей будет приготовлен с использованием методов темплатного синтеза упорядоченных микропористых углеродов путем пропитки цеолитных шаблонов, а также неупорядоченных микромезопористых углеродов с помощью одностадийная карбонизация органических солей соответственно.

* Характеристики пористой структуры полученных углеродных материалов будут характеризоваться адсорбцией / десорбцией азота при -196 °C.
* После производства углеродных материалов на их основе будут изготовлены композитные электроды в виде дисков. Чтобы изучить влияние балансировки массы электродов на равновесный потенциал гибридных элементов в водных электролитах с иодидом щелочного металла, будут реализованы пять различных массовых соотношений положительного и отрицательного электрода, то есть 2:1; 1:1; 1,0:1,5; 1:2; 1,0:2,5 соответственно.
* Электрохимические исследования собранных гибридных конденсаторов будут проводиться для определения современных электрохимических характеристик при низких температурах.
* Электрохимические параметры новых углей и элементов, в которых используются водно-щелочные йодидные электролиты, будут определяться с помощью циклической вольтамперометрии, гальваностатического заряда-разряда, спектроскопии электрохимического импеданса, электрохимического циклирования и электрохимических испытаний на плаву и саморазряд.
* Будет проведен патологоанатомический анализ изменения массы положительных электродов после их поляризации и всплытия, а также исследование их физико-химических свойств.

***Достигнутые результаты:*** В ходе научного исследования были проведены работы по применению методов темплатного синтеза для получения нанопористых углеродных материалов требуемой структуры и состава. Полученные углеродные материалы будут применяться в качестве основных компонентов электродных композитов для электрохимических гибридных конденсаторов. Применение углеродных материалов с различным диаметром наноразмерных пор обеспечит возможность изучения электросорбции иодидов и её влияние на изменение разрядной емкости конденсаторов. В частности, на основе различных темплатов в том числе цеолита, цитрата магния и суспензий коллоидного оксида кремния получены микропористые и микро-мезопористые углеродные материалы. В частности, углеродные материалы с большим объемом доступных пор будут использованы для создания на их основе положительного электрода, в то время как отрицательный электрод будет выполнен из микропористого угля, имеющего умеренный объем пор, но высокую площадь удельной поверхности. Для исследования влияния химии поверхностных функциональных групп (ПФГ) синтезированные углеродные материалы подвергались различным воздействиям как с целью снижения содержания ПФГ, так получения окисленных пористых углеродных материалов. Отличительной особенностью данного способа от ранее описанных методов является применение материалов с регулируемой пористой структурой и составом ПФГ для изучения и практического использования окислительно-восстановительных процессов, происходящих на границе раздела пористый уголь / йодиды.

Согласно календарного плана на 2021 год все запланированные мероприятия выполнены в полном объеме и в установленные для этого сроки. В частности, получены микропористые и мезопористые угли, кроме того проведена последующая термическая обработка синтезированных углей с использованием восстановительной атмосферы водорода. Также проведена химическая обработка полученных углей с образованием материалов с окисленной поверхностью. Кроме того, проведены физико-химические исследования полученных углеродных материалов, а также выполнены физико-химические исследования функционализированных углеродных материалов.

***Члены исследовательской группы:***

1) Павленко В.В., внс, PhD., руководитель проекта. Author ID в Scopus – 55446945500, ORCID – https://orcid.org/0000-0002-3923-5822. Индекс Хирша – 5.

2) Супиева Ж.А., нс, PhD докторант, ответ. исполнитель. Author ID в Scopus – 57203411241, Researcher ID Web of Science – AAD-8480-2020, ORCID – https://orcid.org/0000-0002-5221-8605. Индекс Хирша – 2.

3) Марал Е., мнс, PhD докторант. Researcher ID Web of Science – ABF-2845-2021, ORCID – https://orcid/0000-0001-5256-5415.

4) Асылханова Дана, магистрант.

5) Топанов Б., специалист.

6) Койбагаров М.К., специалист.

7) Котляров А.А., специалист.