

УДК 544.6

**ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СТАДИИ СИНТЕЗА В ТЕХНОЛОГИИ  
ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛУЧЕНИЯ  
ГИДРОКСИДА НИКЕЛЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ АКТИВНОГО  
ВЕЩЕСТВА ГИБРИДНОГО СУПЕРКОНДЕНСАТОРА**

**Сыкчин А. С. (ВятГУ), Вепрева А. И. (ВятГУ), Набоков Д. В. (ВятГУ),  
Научные руководители – к. т. н., доцент Коваленко В. Л. (ВятГУ, УГХТУ); к. т. н.,  
доцент Коток В. А. (ВятГУ, УГХТУ).**

В данной работе изучено влияние температуры стадии синтеза на электрохимические характеристики гидроксида никеля для использования в гибридных суперконденсаторах. Снижение температуры стадии синтеза оказалось нецелесообразным, т. к. резко снижаются удельные ёмкости гидроксида никеля.

В мире существует проблема накопления и передачи электрической энергии.  $Ni(OH)_2$ , благодаря высокой электрохимической активности, используется в разнообразных электрохимических устройствах. Он является активным веществом оксидоникелевого фарадеевского электрода гибридных суперконденсаторов. Гибридные суперконденсаторы (СК) широко используются как основной или вспомогательный источник энергии для электромобилей или гибридных автомобилей, для запуска электродвигателей различного типа, для ИБП различных компьютерных систем, медицинского или другого оборудования, жилых и офисных помещений и др. Из-за заряда-разряда СК высокими токами, электрохимический процесс локализуется на поверхности или в тонком поверхностном слое частиц. К  $Ni(OH)_2$ , предназначенному для использования в суперконденсаторах, выдвигаются специальные требования, в том числе малый размер частиц, высокая удельная поверхность, оптимальная кристаллическая структура, высокая электрохимическая активность и стабильность при зарядно-разрядном циклировании. Научной проблемой является создание стабильных наноразмерных частиц гидроксида никеля.

Требования высокой электрохимической активности и высокой стабильности являются достаточно противоречивыми. Одним из путей разрешения данного противоречия может быть синтез  $\beta-Ni(OH)_2$  со специальной морфологией частиц, повышающей его активность. Таким типом гидроксида никеля является  $Ni(OH)_2$  с простыми и «псевдо-простыми» частицами. Нами предложен не прямой двухступенчатый высокотемпературный метод получения  $Ni(OH)_2$ . На первой стадии проводится синтез никелата натрия в течение 18 часов при температуре 140 °С в концентрированном растворе щёлочи при интенсивном перемешивании. Второй стадией является гидролиз никелата натрия. Нами было предложено два способа гидролиза – холодный (при температуре 25 °С) и горячий (при температуре 170 °С). Гидролиз продолжается 24 часа, в результате чего формируются «псевдо-простые» наноструктурированные частицы гидроксида никеля фрактальной геометрии с высокой удельной поверхностью, которые можно использовать в гибридных суперконденсаторах. Что при холодном, что при горячем гидролизе формируются электрохимически активные образцы гидроксида никеля. В данной работе нами предложено изучить возможность понизить температуру синтеза, как одной из самых энергозатратных стадий получения гидроксида никеля, и оценить её влияние на электрохимические характеристики синтезированных образцов. Нами был взят следующий ряд температур: 110 °С – 120 °С – 130 °С. Все образцы были получены холодным гидролизом. Образцы были изучены методами циклической вольтамперометрии и зарядно-разрядным циклированием в режиме суперконденсатора.

По результатам зарядно-разрядного циклирования показано, что при снижении температуры стадии синтеза никелата натрия удельные ёмкости в Ф/г снижаются. Для образца, полученного при 130 °С, ёмкости при плотности тока 10 мА/см<sup>2</sup> составили 290 Ф/г (максимальная ёмкость) и 195 Ф/г (ёмкость при разряде до 0 В), а при 120 мА/см<sup>2</sup> составили

73 Ф/г (максимальная ёмкость) и 50 Ф/г (ёмкость при разряде до 0 В). Для образца, полученного при 110 °С, ёмкости при плотности тока 10 мА/см<sup>2</sup> составили 260 Ф/г (максимальная ёмкость) и 155 Ф/г (ёмкость при разряде до 0 В), а при 120 мА/см<sup>2</sup> составили 10 Ф/г (максимальная ёмкость) и 7 Ф/г (ёмкость при разряде до 0 В). Ёмкость при высоких плотностях тока снизилась в 7 раз. Для сравнения, образец, полученный при 140 °С, имеет ёмкости при плотности тока 10 мА/см<sup>2</sup> в 900 Ф/г (максимальная ёмкость) и 750 Ф/г (ёмкость при разряде до 0 В), а при 120 мА/см<sup>2</sup> в 220 Ф/г (максимальная ёмкость) и 180 Ф/г (ёмкость при разряде до 0 В).

По полученным результатам можно сделать вывод о нецелесообразности понижения температуры стадии синтеза ниже 140 °С, т. к. это приводит к сильному снижению удельной ёмкости получаемого гидроксида. Это может быть вызвано тем, что наноструктурированные частицы никелата натрия полноценно не сформировались. Для разрабатываемого нами прототипа гибридного суперконденсатора необходимо осуществлять первую стадию синтеза при температуре 140 °С.