

УДК 544.08

**ИМПЕДАНС УГЛЕРОДНОГО МАТЕРИАЛА "БУСОФИТ" С  
ПОКРЫТИЯМИ Ti/Ag В СОСТАВЕ ТЕРМОЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ  
ЯЧЕЕК**

**И.Н. Бурмистров, д.т.н., профессор**  
**Н.В. Киселев, м-ХМТН-11, 1 курс магистратуры,**  
**О.В. Ганжа, 62-ЭРСП-41, 4 курс**  
**А.С. Глубокая, 62-ЭРСП-41, 4 курс**  
Саратовский Государственный Технический Университет  
им. Гагарина Ю.А.  
г. Саратов

**Введение.**

Термоэлектрохимические ячейки – устройства способные эффективно собирать низкопотенциальную тепловую энергию и преобразовывать ее в электричество. Поэтому исследование зависимостей характеристик ТЭХ ячеек является актуальной задачей. Создание эффективного электродного материала позволит увеличить токи, протекающие через систему, и как следствие мощность и эффективность термоэлектрического преобразования.

Данная работа посвящена методам контроля электрофизических и электрохимических характеристик термоэлектрохимических преобразователей, на примере термоэлектрохимической ячейки.

**Электролит.**

В качестве электролита выступает водный раствор пары солей гексацианоферрита (II) калия  $K_4[Fe(CN)_6]$  и гексацианоферрата (III) калия  $K_3[Fe(CN)_6]$ .

Как показали ранние исследования, макеты термоэлектрохимических ячеек показывают наилучшие результаты удельной мощности при концентрации медиатора в электролите 0,3М и соотношении веществ медиатора 1:1.

**Углеродная сорбционно-фильтрующая ткань "Бусофит".**

В качестве электродов была выбрана углеродная сорбционно-фильтрующая ткань "Бусофит", а также ее модификации титаном и серебром. Бусофит – это высокопористое углеродное волокно, состоящее из тонких нитей диаметром от 5 до 15 микрон, образованных преимущественно атомами углерода. В ткани "Бусофит" на поверхности волокон есть много микропор. Благодаря порам происходит процесс сорбции веществ, особенно в области низких концентраций.

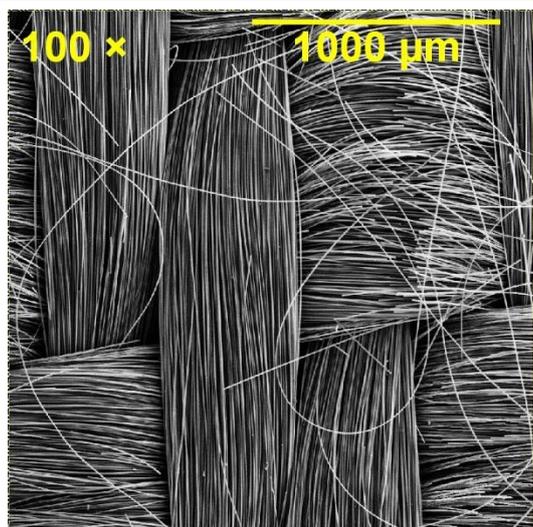


Рисунок 1 – Снимок электронного микроскопа углеродной ткани "Бусофит".

#### **Потенциодинамический метод.**

Для изучения кинетики анодных и катодных процессов применяется потенциодинамический метод. Он заключается в снятии и анализе поляризационных кривых и устанавливает зависимости силы поляризующего тока от потенциала.

Потенциодинамические кривые строят по зависимости потенциала от плотности тока. Кривые соответствуют анодной и катодной поляризации т.е. поляризации в положительном от стационарного потенциала направлении и в отрицательном. Начальный потенциал, сообщаемый образцу, равен его стационарному потенциалу [1,2].

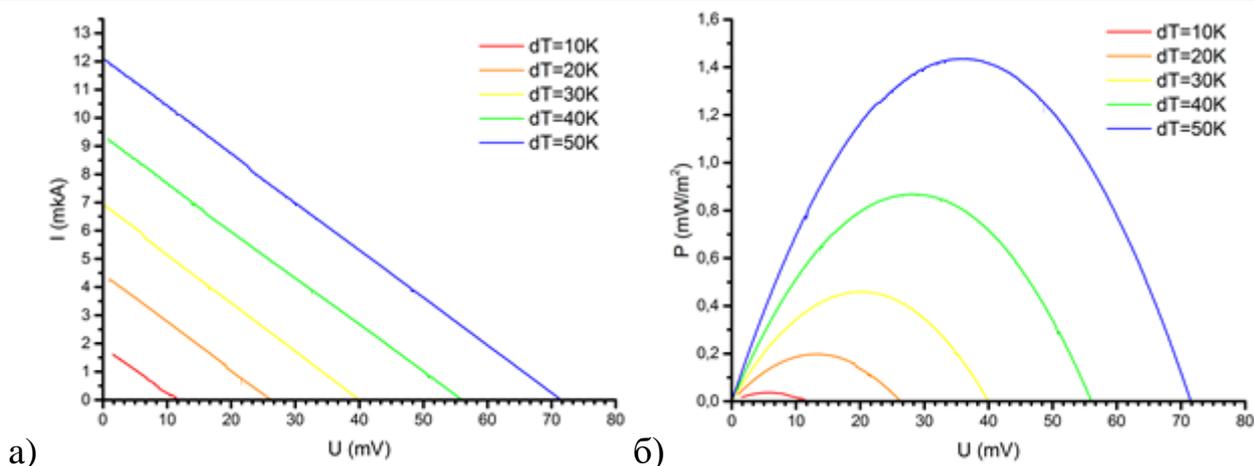
#### **Метод импедансной спектроскопии.**

Импедансная спектроскопия основана на измерении и анализе зависимости комплексного электрического сопротивления  $Z$  (импеданса) от частоты  $\omega$  переменного тока. С ее помощью можно определить структурные особенности исследуемых систем, микроскопические параметры и другие характеристики исследуемых объектов [3,4].

Одним из этапов обработки результатов измерений на переменном токе является построение и анализ эквивалентных схем (ЭС) замещения, т. е. электрических цепей, имеющих ту же зависимость импеданса от частоты, что и изучаемый образец. Эквивалентные схемы состоят, как правило, из нескольких различных элементов. Анализ ЭС и расчет их полного сопротивления сопряжен со сложением гармонических колебаний токов и напряжений [5].

#### **Результаты потенциодинамического метода.**

Для каждой термоэлектрохимической ячейки были сняты нагрузочные кривые на потенциостате-гальваностате Пи-50-Pro.



а) б)  
 Рисунок 2 – График зависимости силы тока от напряжения (а) и удельной мощности от напряжения (б) для различных разниц температур на примере ячеек с Бусофитом, содержащим Ag.

На основании полученных результатов были построены зависимости удельной мощности от напряжения.

По вышеприведенным графикам были определены максимальные мощности и построены зависимости максимальной удельной мощности от реальной разности температур.

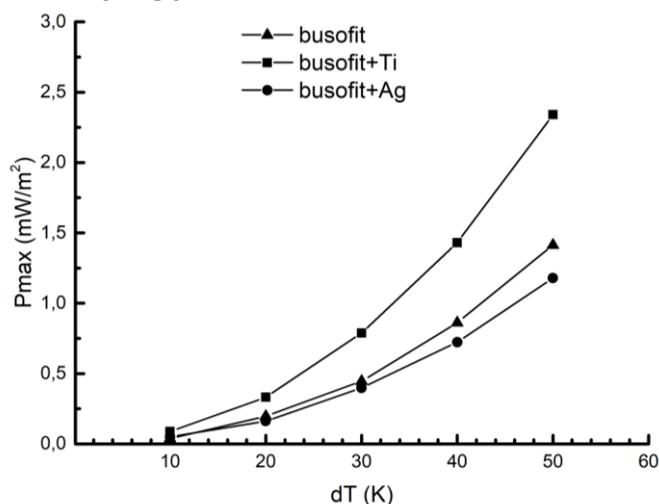


Рисунок 3 – Зависимость максимальной мощности от разности температур сторон макета для ячеек на основе Бусофита и его модификаций титаном и серебром.

На основании (рис.3) можно сделать вывод о том, что присутствие частиц титана на поверхности углеродного волокна уменьшает энергию активации электродных процессов.

#### Результаты импедансной спектроскопии.

Методом импеданса в частотном диапазоне от 0,1 кГц до 5 Гц были измерены ТЭХ ячейки при различных температурах.

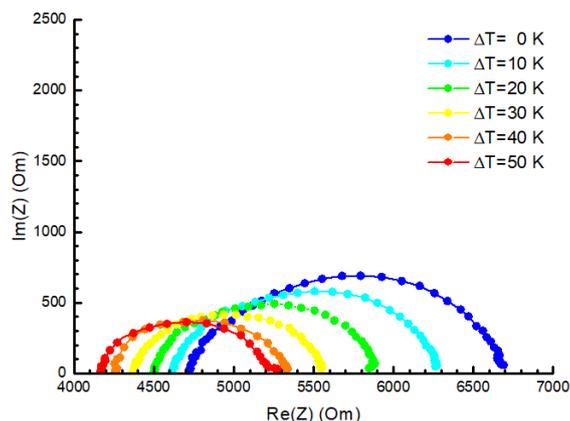


Рисунок 4 – Общий вид годографа импеданса для термоэлектрохимических ячеек

По форме импеданса можно сделать вывод о том, что присутствует 2 вида сопротивления и емкость.

На основании всех результатов импедансометрии была построена эквивалентная схема термоэлектрохимической ячейки (рис. 5) и определены интересные параметры (рис. 6).

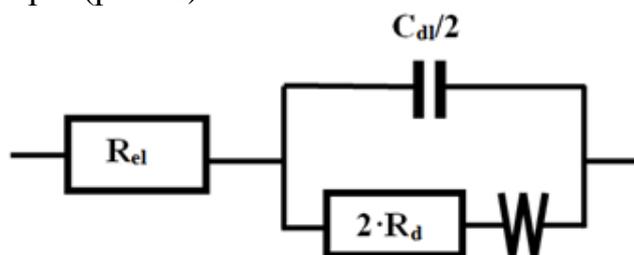


Рисунок 5 – Эквивалентная схема термоэлектрохимической ячейки.

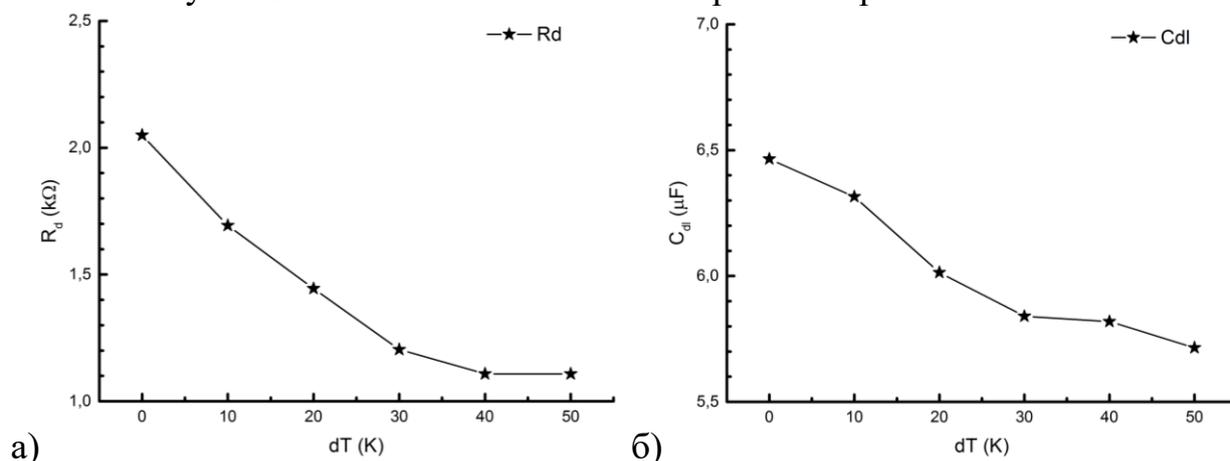


Рисунок 6 – Зависимость сопротивления Фарадея (а) и емкости двойного слоя (б) от разности температур на ячейке с Бусофитом, содержащим Ag.

По (рис.6) можно сделать вывод о том, что при увеличении разности температур между электродами значения исследуемых характеристик уменьшаются.

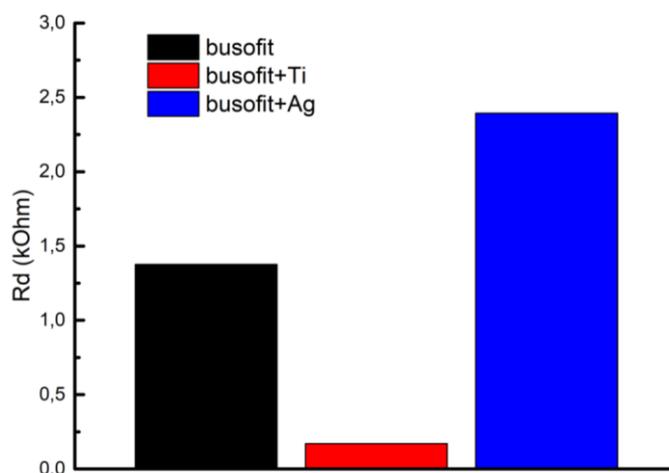


Рисунок 7 – Сравнение сопротивлений электродного процесса для ячеек с Бусофитом и его модификаций титаном и серебром.

Как видно из сравнительных графиков (рис. 3, рис. 7), результаты импедансной спектроскопии коррелируют с результатами потенциодинамических измерений.

#### **Выводы.**

Наличие частиц титана на поверхности углеродных волокон значительно снижает сопротивление электродного процесса, что способствует увеличению токов, протекающих через систему, и соответственно увеличивает мощность термоэлектрического преобразования. Присутствие частиц серебра увеличивает сопротивление электродного процесса, что сказывается и на мощности.

Вышеприведенные результаты говорят о том, что потенциодинамический и импедансный методы хорошо отражают процессы, происходящие в термоэлектрохимических ячейках, а так же позволяют количественно оценить электрохимические параметры данных систем.

#### **Список литературы**

1 *Галюс, З.* Теоретические основы электрохимических методов анализа / З. Галюс. – М.: Мир, 1975. – 396 с.

2 *Ярославцева, О. В.* Коррозия и защита металлов [учеб.-метод. пособие] / О. В. Ярославцева, Т. Н. Останина, В. М. Рудной, И. Б. Мурашова. – Екб.: Изд-во Уральского ун-та, 2015. – 92с.

3 *Васильев, Р. Б.* Метод спектроскопии импеданса для исследования электрофизических свойств материалов / Р.Б. Васильев. – М.: Изд-во МГУ, 2011. – 49 с.

4 *Гоффман, В. Г.* Импедансная Спектроскопия Твердых Тел. Часть 1. Учебное пособие / В. Г. Гоффман, А. В. Гороховский, Н. В. Горшков, Н. Н. Ковынева, Е. В. Колоколова. – Саратов : Саратов. гос. техн. ун-т, 2016. – 124 с.

5 *Поклонский, Н. А.* Основы импедансной спектроскопии композитов. Курс лекций. / Н. А. Поклонский, Н. И. Горбачук. – Минск: БГУ, 2005. – 130 с.