

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАВИСИМОСТИ  
ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ВОДНЫХ  
РАСТВОРОВ НАНООБЪЕКТОВ  
ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ**

**Х.Х. Саламех, Д.В. Образцов, М.В. Макаrchук,  
В.П. Шелохвостов, В.П. Чернышов**

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический  
университет», г. Тамбов*

*Рецензент д-р техн. наук, профессор Д.М. Мордасов*

**Ключевые слова и фразы:** водный раствор; нанобъект; температурная зависимость; электрическая проводимость.

**Аннотация:** Проведен анализ и устранены побочные факторы, влияющие на результат измерения температурной зависимости электрической проводимости водных растворов нанобъектов. Полученные данные положены в основу метода и устройства, позволяющих определять температурную зависимость электрической проводимости водных растворов нанобъектов.

Наноструктурные материалы и наномодифицированные среды находят все более широкое применение благодаря своим уникальным свойствам, что влечет за собой значительное увеличение их производства. При массовом производстве наноструктурных материалов и продуктов на их основе необходимо контролировать свойства конечного продукта на всех этапах производства. Немаловажным также является контроль экологической обстановки вокруг производства. Наноконпоненты в наномодифицированных средах остаются активными, их влияние может распространяться на экологическую среду, что создает риски для флоры и фауны. Таким образом, разработка методов контроля наноструктурных материалов и продуктов на их основе в экологической среде и при их производстве является актуальной задачей.

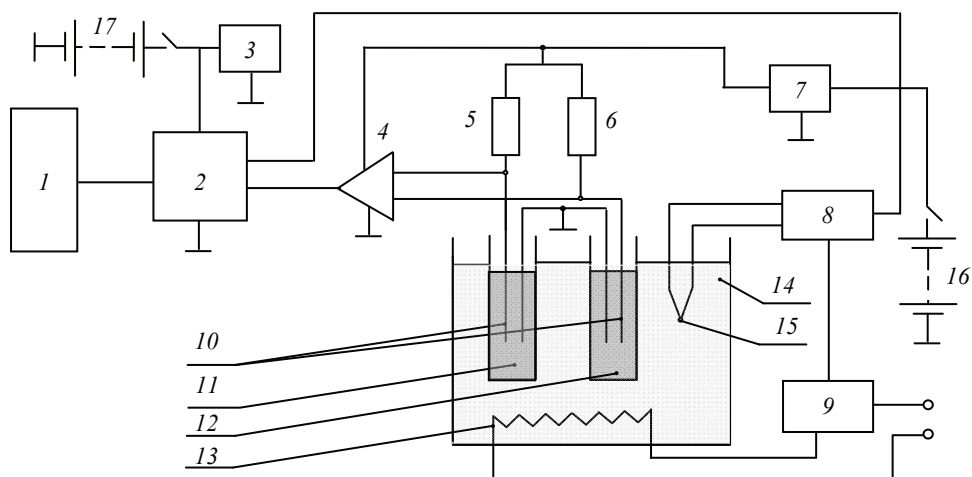
---

Саламех Ханай Хатем – аспирант кафедры «Материалы и технология», e-mail: mit@mail.nnn.tstu.ru; Образцов Денис Владимирович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Уголовное право и прикладная информатика в юриспруденции»; Макаrchук Максим Валерьевич – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Материалы и технология»; Шелохвостов Виктор Прокопьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Материалы и технология»; Чернышов Владимир Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Уголовное право и прикладная информатика в юриспруденции», ТамбГТУ, г. Тамбов.

Исследуем температурную зависимость электрической проводимости водных растворов наноструктурных материалов различных концентраций. Исследования требовали тщательной постановки эксперимента и проектирования измерительной системы, учитывающей факторы, вносящие погрешности в результаты измерений. Была разработана измерительная система (рис. 1) позволяющая получать адекватные экспериментальные данные. Для обеспечения стабильности всей измерительной системы использовали в качестве основного источника питания аккумуляторную батарею 16 на 12 В (см. рис. 1). Мостовая измерительная система построена по классической схеме и состоит из двух резисторов 5, 6 установленных в разных плечах и двух других резисторов представляющих собой электроды 10, расположенные на равном расстоянии и устанавливаемые в пробирки 11, 12 с исследуемым водным раствором наноструктурного материала и эталоном (бидистиллированная вода). Закрепленные жестко относительно друг друга пробирки помещаются в термостат.

Падение напряжения на плечах моста снималось с помощью дифференциального прецизионного операционный усилителя 4 (см. рис. 1), после усиления данные через аналого-цифровой преобразователь (АЦП) 2 поступали в компьютер 1. Одновременно с данными о дифференциальной разнице падения напряжения исследуемого раствора и бидистиллированной воды производилась запись величины температуры, что позволило построить температурную зависимость проводимости растворов.

Для устранения помех, наводимых персональным компьютером 1 на АЦП 2 по обратной связи, и повышения стабильности измерений использовалась в цепи передачи сигнала гальваническая развязка, питание АЦП осуществлялось через стабилизатор напряжения 3 от аккумулятора 17.

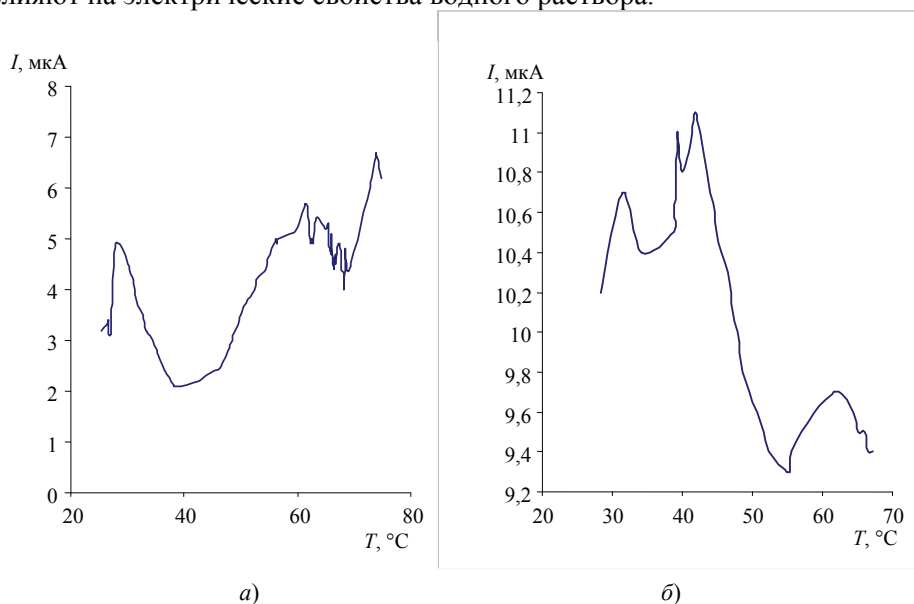


**Рис. 1. Функциональная электрическая схема экспериментальной установки:**  
 1 – ЭВМ; 2 – АЦП; 3 – стабилизатор напряжения 5 В; 4 – двухканальный операционный усилитель; 5, 6 – резисторы мостовой схемы; 7 – функциональный генератор сигналов; 8 – датчик температуры электронного термостата; 9 – блок управления нагревателем; 10 – электроды измерительных ячеек; 11 – ячейка с бидистиллированной водой (эталон); 12 – ячейка с раствором нанообъектов в дистиллированной воде; 13 – водонагреватель; 14 – нагреваемый объем воды в термостате; 15 – первичный измеритель температуры (термопара); 16, 17 – батареи питания, аккумуляторы по 12 В

В качестве источника сигнала использовался функциональный генератор 7 с диапазоном рабочих частот 0...4 МГц и перестраиваемым напряжением от  $-5$  до  $+10$  В. Генерируемые формы выходного сигнала имеют вид пилы, треугольника, синусоиды, меандра. Измеренные нелинейные искажения синусоидального сигнала на частоте 1 кГц составили 0,0076 %. Данный функциональный генератор позволяет проводить исследования водных растворов наноструктурных материалов в широком диапазоне электрических параметров без искажения сигнала и внесения в результаты измерения погрешностей.

Проводилась проверка работоспособности разработанной экспериментальной установки на помехозащищенность и адекватность получаемых с нее данных.

В качестве объекта исследования использовался раствор углеродного наноструктурного материала (на 10 мл воды брали 1 мг углеродных нанотрубок). На рисунке 2, а показана дифференциальная зависимость, полученная при одновременном нагреве пробирок с раствором и дистиллированной водой (эталон) до  $80$  °С. Скорость нагрева в среднем составляла  $5$  °С в минуту. Разница электрической проводимости водного раствора углеродного наноструктурного материала и дистиллированной воды имеет нелинейный характер, что отражается на графике в виде пиков. На рисунке 2, б показана дифференциальная зависимость, полученная при одновременном охлаждении пробирок с раствором и дистиллированной водой со средней скоростью  $2$  °С в минуту. Дифференциальные зависимости при нагреве и охлаждении одного и того же раствора не повторяют друг друга, что позволяет предположить, что в водном растворе наноструктурного материала при нагревании происходят структурные изменения, которые влияют на электрические свойства водного раствора.



**Рис. 2. Дифференциальная зависимость проводимости водного раствора наноструктурных материалов и дистиллированной воды (эталон):**  
*а* – характеристика получена при нагреве; *б* – характеристика получена при охлаждении

В результате проделанной работы был разработан метод и реализующая его помехоустойчивая экспериментальная установка по определению температурной зависимости электрической проводимости водных растворов наноструктурных материалов различных концентраций.

Разработанный метод и экспериментальная установка дают возможность провести исследования электропроводности водных растворов наноструктурных материалов различных концентраций при изменении температуры.

*Работа выполнена в рамках государственного контракта № 14.741.12.0150 федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.*

#### *Список литературы*

1. Структура и свойства растворов высокого разбавления / В.П. Шелохвостов [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2003. – Т. 8, № 4. – С. 698–701.

2. Определение изменений энергетических соотношений в наноразмерных квантовых структурах / Д.А. Шеришорин [и др.] // Тр. Тамб. гос. техн. ун-та : сб. – 2005. – № 17. – С. 85–88.

3. Шелохвостов, В.П. Методы и средства контроля параметров конденсированных сред, содержащих наноструктурные компоненты / В.П. Шелохвостов, В.Н. Чернышов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – (Препринт Вестн. Тамб. гос. тех. ун-та / Тамб. гос. техн. ун-т. – Препринт № 21. Рубрика 01. – 2007. – Т. 13, № 3. – 60 с.).

4. Макаrchук, М.В. Неразрушающий контроль наноразмерных объектов резонансным кондуктометрическим методом / М.В. Макаrchук, В.П. Шелохвостов, В.П. Чернышов / Контроль. Диагностика. – 2008. – № 3. – С. 43–48.

---

### **Method of Determining Temperature Dependence of Electrical-Conductivity of Aqueous Solutions of Nanoobjects**

**H.H. Salamekh, D.V. Obratsov, M.V. Makarchuk,  
V.P. Shelokhvostov, V.N. Chernyshov**

*Tambov State Technical University, Tambov*

**Key words and phrases:** aqueous solution; electrical-conductivity; nanoobject; temperature dependence.

**Abstract:** The paper presents the analysis and elimination of extraneous factors influencing the result of measuring the temperature dependence of electrical conductivity of aqueous solutions of nanoobjects. The data obtained form the basis of the method and device enabling to determine the temperature dependence of the electrical conductivity of aqueous solutions of nanoobjects.

---

© Х.Х. Саламех, Д.В. Образцов, М.В. Макаrchук,  
В.П. Шелохвостов, В.П. Чернышов, 2011