

## КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДЫ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОЕМКОСТНЫМ МЕТОДОМ

Т. А. Горчаков, В. П. Редько, И. В. Терешко

Аннотация. В статье представлены результаты исследования электрофизических свойств медицинских ампул с водой и водными растворами при помощи сканирующего емкостного преобразователя. Описана методика проведения исследования. Получены температурные зависимости электрофизических параметров воды и водных растворов NaCl и MgSO<sub>4</sub> в стеклянных ампулах.

Ключевые слова: вода и водные растворы, электроемкостный метод, медицинские ампулы.

Целью настоящей работы является разработка метода неразрушающего контроля и измерения электрофизических свойств воды и водных растворов.

В качестве объектов исследований были выбраны стеклянные ампулы с дистиллированной водой и водными растворами хлорида натрия и сульфата магния Борисовского завода медицинских препаратов (г. Борисов) и фармацевтической фирмы «Дарница» (г. Киев). Выбор в качестве объектов контроля стеклянных запаянных ампул с исследуемыми жидкостями позволил избежать влияния внешних атмосферных условий на состав и свойства их содержимого и проводить многократные измерения на одних и тех же ампулах.

При разработке метода контроля были исследованы несколько вариантов емкостных преобразователей с внешними электродами: 6-электродные, 4-электродные и 2-электродные преобразователи [1]. Наиболее оптимальным для работы совместно с измерительным мостом А7-8 оказался двухэлектродный преобразователь с шириной электродов 2 мм.

Основными деталями емкостного преобразователя являются диэлектрическая пластина с расположенными на ней двумя дугообразными электродами и микрометр, с помощью которого осуществляется сканирование – перемещение ампулы с жидким диэлектриком относительно дугообразных электродов, длина дуги которых равна  $0,79 D$ , где  $D$  – диаметр диэлектрического сосуда. Электроды подключаются к измерительному прибору (например, измерительному мосту А7-8) для измерения тангенса угла диэлектрических потерь, электрической емкости  $C$ , измеряемой в пикофарадах (пФ) и электропроводимости  $\sigma$ , измеряемой в наносименсах (нСм).

Сканирование осуществляется перемещением вертикально расположенной между электродами ампулы. Ампула устанавливается вертикально (рисунки 1, 2) в начальном положении так, чтобы ее дно совпадало с верхней плоскостью диэлектрической пластины с отверстием и дугообразными электродами.

Затем ампулу перемещают микрометрическим винтом вверх в электрическом поле, которое формируется двумя дугообразными электродами в плоскости, перпендикулярной направлению движения ампулы [2, 3]. Отсчет расстояния в миллиметрах ведется от дна ампулы.

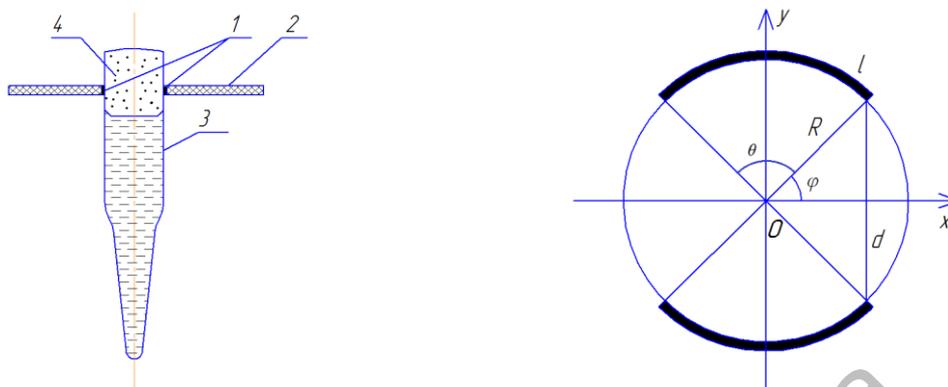


Рисунок 1 – Сканирующий емкостный преобразователь и ампула с водным раствором; схема расположения обкладок измерительного преобразователя:

1 – обкладки преобразователя; 2 – диэлектрическая пластинка, удерживающая обкладки; 3 – ампула с водой; 4 – пары воды; R - радиус ампулы, l – длина обкладок.

Результаты измерений  $\text{tg}\delta$  сверялись с расчетными, получаемыми по формуле

$$\text{tg}\delta = \frac{G}{2\pi f C}, \quad (1)$$

где f – частота измерительного напряжения, подаваемого на электроды, C – емкость,  $\sigma$  – электропроводность.

Относительная погрешность измерений  $\text{tg}\delta$ , C и  $\sigma$  определяется пределами допускаемой основной абсолютной погрешности используемого прибора.

Оптимизация конструкции преобразователя проводилась физическим и математическим моделированием преобразователя и объекта контроля. При выборе оптимальной конструкции емкостного преобразователя учитывались длина l и ширина h обкладок (электродов), а также расстояние d между ними (рисунок 1).

Расчет геометрических параметров измерительного преобразователя был произведен в системе MathCAD.



Рисунок 2 - Общий вид сканирующего устройства

При неразрушающем контроле герметичных стеклянных ампул с водой методом сканирования измеряются электрофизические параметры не самой воды или водных растворов, а системы «вода – ампула». В ампулах при исследовании выделялись две области: область жидкой фазы воды и область паров воды над мениском, разделяющим эти две области (при исследовании ампулы находятся в вертикальном положении).

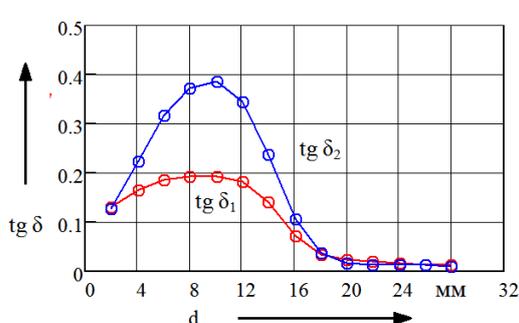
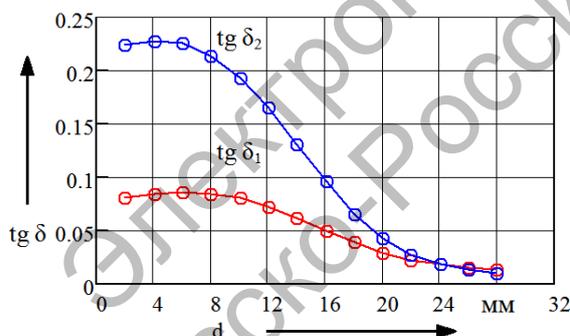
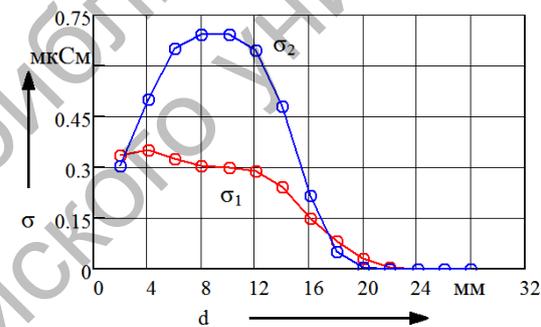
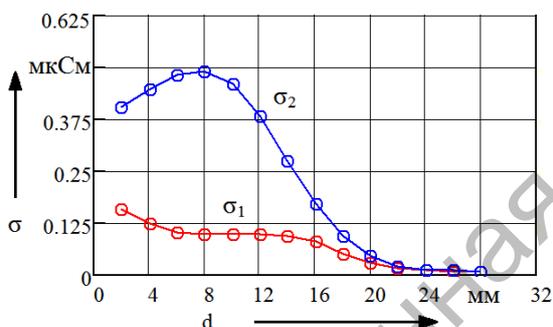
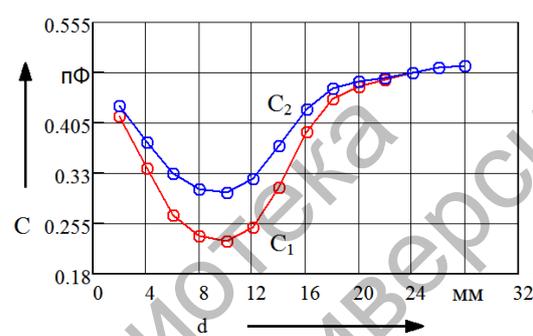
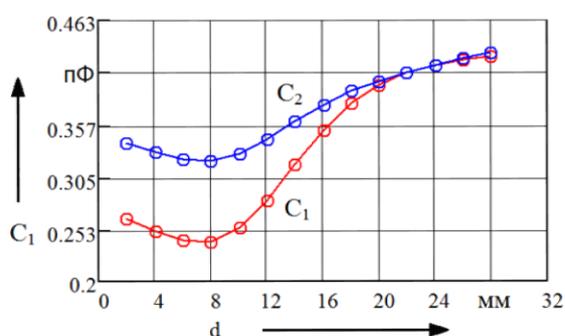


Рисунок 3. Результаты измерений электроемкости  $C$ , электропроводности  $\sigma$ ,  $\text{tg } \delta$  методом сканирования ампулы с водой до (1) и после встряхивания (2) ампулы (образец H<sub>2</sub>O-1).

Рисунок 4. Результаты измерений электроемкости  $C$ , электропроводности  $\sigma$  и  $\text{tg } \delta$  методом сканирования ампулы с водой до (1) и после встряхивания (2) ампулы (образец H<sub>2</sub>O-2).

Переструктуризация молекул и кластеров воды происходит в результате различных внешних воздействий, в том числе, например, при встряхивании ампул. Этот процесс весьма активно и своеобразно происходит в более разреженных средах, например, в парах воды (рисунки 3, 4). Первые измерения  $\text{tg } \delta$ ,  $C$  и  $\sigma$  в области паров воды над мениском показали, что эти параметры чувствительны даже к небольшим встряхиваниям

ампул в сравнении с областью жидкой фазы (под мениском). Поэтому в дальнейшем измерения этих параметров проводились при сканировании объема ампул над водой (над мениском), а методика измерений включала:

- отставание ампул в течение определенного времени в состоянии покоя;
- измерение  $\text{tg}\delta$ ,  $C$  и  $\sigma$  при сканировании;
- «встряхивание» ампул определенное количество раз с последующим измерением этих же параметров при сканировании после встряхивания.

Исследованы также водные растворы натрия хлорида (0,9%) и магния сульфата (25%) в стеклянных ампулах медицинского назначения.

Ранее в публикациях отмечалось, что в случае наличия растворимых примесей в воде ее общий дипольный момент становится не равным нулю, а несколько молекул вещества могут существенно изменить структуру кластеров воды вследствие образования вокруг молекул растворенного вещества «гидратных шуб» [4, 5]. Их конфигурация и размеры зависят от условий, в которых производилось растворение.

Структура такой воды не только содержит подобные «шубы» вокруг молекул растворенных солей, но эти структуры еще и идеально построены и имеют оптимальные размеры. Например, в 0,9%-м растворе с NaCl на одну молекулу NaCl приходится 357 молекул воды, а в 25%-м растворе с MgSO<sub>4</sub> – 2670 молекул воды на одну молекулу MgSO<sub>4</sub>. Есть мнение, что наличие микроэлементов натрия (Na), магния (Mg), углерода (C), кальция (Ca) и других элементов может привести к образованию устойчивых во времени структур – кластеров в воде [6]. Проведенные нами исследования объемов ампул с растворами в состоянии покоя показали, что характер распределения  $\text{tg}\delta$  по объему ампул идентичен, но численное значение  $\text{tg}\delta$  у раствора с NaCl примерно в два раза больше, чем у раствора с MgSO<sub>4</sub>. Причина этого, вероятно, в том, что число ионов воды в растворе с NaCl на одну молекулу NaCl примерно в 7 раз меньше, чем в растворе с MgSO<sub>4</sub>. Но после «встряхивания» ампул, вероятно, в растворе создаются условия для образования одинаково стабильных кластеров из молекул NaCl и воды, и MgSO<sub>4</sub> и воды. В этом, возможно, заключается причина аналогичной ситуации с электропроводностью растворов после «встряхивания».

Результаты исследований указывают на то, что измеряя тангенс угла диэлектрических потерь и электропроводность при сканировании ампул можно определить наличие микроэлементов в воде, в частности, натрия и магния. Это обусловлено тем, что в случае наличия растворимых примесей в воде ее общий дипольный момент становится не равным нулю, а несколько молекул вещества могут существенно изменить структуру кластеров воды [7].

Были исследованы температурные зависимости электрофизических параметров воды и водных растворов NaCl и MgSO<sub>4</sub> в стеклянных ампулах.

У дистиллированной воды, как и у большинства реальных жидких диэлектриков, возможны одновременно несколько видов структурных преобразований при различных видах внешних воздействий (например, при холодноплазменном кондиционировании) и температуры, в частности.

При нагревании воды происходит разупорядочение кластерной структуры, размеры кластеров изменяются, возможен распад кластеров на отдельные молекулы и образование ионов, что ведет к изменению свойств воды. Количество и виды преобразований структуры воды зависят от температуры, а изменение свойств воды определяет изменение электрофизических параметров воды и, в первую очередь, тангенса угла диэлектрических потерь. Чтобы произошли такие температурные процессы требуется определенная энергия, называемая энергией активации. Если измеряемая величина в та-

ких процессах имеет экспоненциальную зависимость от температуры, то обычно для описания таких процессов используют известную формулу, которая применительно к величине тангенса угла диэлектрических потерь имеет вид

$$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} \delta_0 \cdot e^{\frac{E_A}{KT}}, \quad (2)$$

где  $E_A$  – энергия активации;

$T$  – температура в градусах Кельвина;

$K$  – постоянная Больцмана.

При вычислениях энергии активации  $E_A$  графики зависимости  $\operatorname{tg} \delta = f(T)$  строят в полулогарифмической системе координат, что позволяет увидеть линейные участки с разными наклонами к температурной оси, которые соответствуют разным значениям энергии активации (рисунок 5).

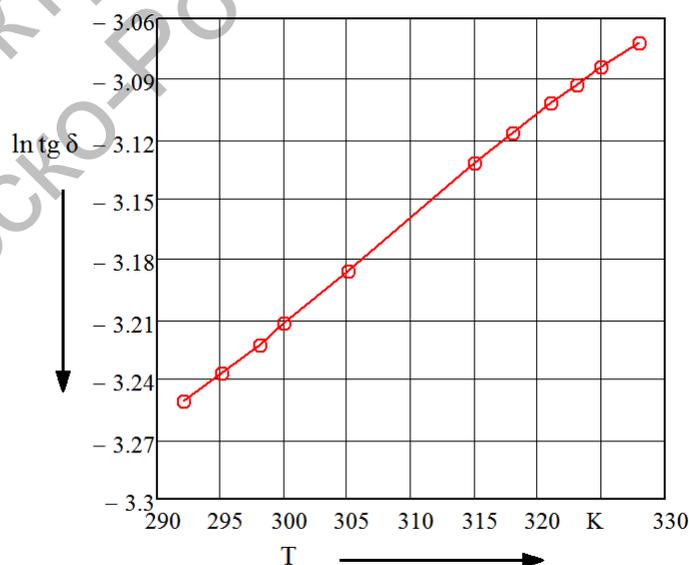
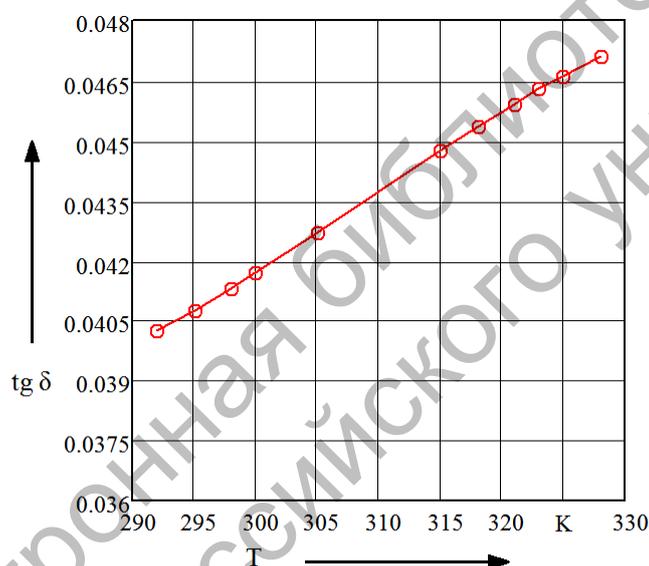


Рисунок 5. Температурная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  в ампуле с дистиллированной водой

Этим методом для двух линейных участков на графике для воды получены два значения энергии активации  $E'_A=0,068$  эВ и  $E''_A=0,146$  эВ.

Аналогичным образом были рассчитаны значения энергии активации для водных растворов  $H_2O + NaCl$  и  $H_2O + MgSO_4$ .

Мы склонны считать, что полученные результаты значений энергии активации для воды и водных растворов являются весьма усредненными, так как число возможных сочетаний, комбинаций и изменяющихся перегруппировок молекул в кластерах воды, а тем более в кластерах воды с растворенными в ней микроэлементами, весьма велико. А каждой такой комбинации соответствует своя энергия активации.

### Заключение

Предложен, разработан и изготовлен емкостный преобразователь для контроля электрофизических параметров воды и водных растворов, находящихся в стеклянных ампулах. Методом сканирования проведены измерения электрофизических параметров стеклянных ампул с дистиллированной водой и водными растворами  $NaCl$  и  $MgSO_4$ , а также исследовано влияние температуры на электрофизические параметры дистиллированной воды, находящейся в стеклянных ампулах.

Измерения электрофизических параметров стеклянных ампул с водными растворами  $NaCl$  и  $MgSO_4$  указывают на то, что измеряя тангенс угла диэлектрических потерь или электропроводность при сканировании ампул можно определить наличие микроэлементов в воде, в частности, натрия и магния.

Расчетным путем для двух линейных участков на графиках  $\text{tg } \delta = f(T)$ , где  $T$  – абсолютная температура воды, получены значения энергии активации воды  $E'_A = 0,068$  эВ и  $E''_A = 0,146$  эВ, по-видимому, соответствующие энергиям разупорядочения или распада кластерных структур с образованием ионов.

### Литература

1. Неразрушающий контроль: справочник в 8 т. Т. 5, кн.2: Электрический контроль / Под ред. В. В. Клюева.– 2-е изд., перераб.– М.: Машиностроение, 2006.–688 с.: ил.
2. Сканирующий емкостной преобразователь: полезная модель 9499 Респ. Беларусь, МПК P01K27/26 / В. П. Редько, С. С. Сергеев, И. В. Терешко, В. М. Терешко, А. В. Хомченко, Т. А. Горчаков; дата публ.: 30.08.2013.
3. Горчаков, Т. А. Разработка и исследование сканирующего емкостного преобразователя для контроля электрофизических свойств воды и водных растворов. // Тезисы докладов 52-ой студенческой научно - технической конференции (Могилев, 5-6 мая, 2016 г.). – Могилев: ГУ ВПО «Белорусско-российский университет», 2016. – С.21.
4. Линг, Н. Г. Физическая теория живой клетки: незамеченная революция. – СПб., 2008.
5. Адамчевский, И. В. Электрическая проводимость жидких диэлектриков. Л.: Энергия, 1972.
6. Лахно, В. Д. Кластеры в физике, химии, биологии. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 256 с.
7. Стехин, А. А. Структурированная вода: нелинейные эффекты. / А.А. Стехин, Г.Е. Яковлева – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 320 с.

#### **Горчаков Тимур Анатольевич**

Студент электротехнического факультета  
Белорусско-Российский университет, г. Могилев  
Тел.: +375 (29) 367 94 38; +375 (222) 72 84 55  
E-mail: timurgorchakov@yandex.ru

#### **Редько Всеволод Петрович**

Профессор кафедры «Физические методы контроля», докт. физ.-мат. наук  
Белорусско-Российский университет, г. Могилев  
Тел.: +375 (33) 629 42 71

#### **Терешко Ирина Васильевна**

Доцент кафедры «Физические методы контроля», канд. физ.-мат. наук  
Белорусско-Российский университет, г. Могилев  
Тел.: +375 (44) 747 46 05