

УДК 53.087.92:66.063.6

## ДАТЧИК ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ЖИДКОДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

В.А. Гольдаде<sup>1,2</sup>, И.В. Шаламов<sup>3</sup>, Е.А. Цветкова<sup>1</sup>, Т.В. Рябченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь

<sup>2</sup>Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

<sup>3</sup>ООО «ВИНЭКС», Минск, Беларусь

## DETECTOR FOR INVESTIGATION MULTICOMPONENT LIQUID-DISPERSED SYSTEMS

V.A. Goldade<sup>1,2</sup>, I.V. Shalamov<sup>3</sup>, E.A. Tsvetkova<sup>1</sup>, T.V. Rjabchenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>F. Scorina Gomel State University, Gomel, Belarus

<sup>2</sup>V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of NAS of Belarus, Gomel, Belarus

<sup>3</sup>Limited liability company «VINEX», Minsk, Belarus

Рассмотрены конструктивные особенности конусного датчика, предназначенного для исследования многокомпонентных жидкодисперсных систем электрофизическим методом. Использование датчика позволяет изучать строение таких систем в лабораторных и промышленных условиях, а также осуществлять контроль состава двух- и многокомпонентных жидких сред, например, биологических жидкостей, буровых растворов, растворов полимеров. Датчик характеризуется высокой структурной чувствительностью и точностью измерений тока деполаризации и производных от него физико-химических параметров.

**Ключевые слова:** датчик, структурная чувствительность, измерительный электрод, ток деполаризации, жидкодисперсная система.

Design philosophy of conical detector is considered. It is intended for investigation of multicomponent liquid-dispersed systems using the complex electrophysical method. Utilization of the detector allows studying the constitution of such systems in laboratory and industrial conditions as well as to control the composition of bi- and multicomponent liquid systems, for example biological liquids, drilling fluids and polymer solutions. The detector is characterized by high structural perceptibility, measurement accuracy of depolarization current and its derivatives such as physico-chemical parameters.

**Keywords:** structural perceptibility, measuring electrode, depolarization current, multicomponent liquid-dispersed systems.

### Введение

Жидкодисперсные системы, например, полимерные гели, буровые растворы, различные биологические жидкости содержат дисперсные компоненты, которые по-разному ведут себя в электрическом поле: происходит ориентация дипольных молекул, разнополярно заряженных частиц и надмолекулярных образований, квазидиполей; перемещение на макрорасстояния физических носителей заряда. В результате в образце появляется асимметрия в распределении заряженных частиц, и он поляризуется. После снятия поляризующего поля исследуемый образец релаксирует к первоначальному равновесному состоянию, отдавая накопленную энергию. В течение времени релаксации поляризационного заряда по внешней электрической цепи течет ток деполаризации, сила и кинетика снижения которого полностью определяются составом и структурой дисперсной системы [1]. Существование тока деполаризации означает сохранение в течение некоторого времени поляризованного состояния жидкодисперсной системы и соответствует проявлению ею квазиэлектретного эффекта [2]–[4]. Для оценки такого поляризованного

состояния жидкодисперсных систем требуется высокая точность измерений.

В лабораториях и промышленных условиях для изучения строения, определения и контроля состава двух- и многокомпонентных жидкодисперсных систем и исследования протекающих в них процессов обычно применяют физико-химический анализ, заключающийся в измерении их электрофизических свойств, в частности, метод изотермической деполаризации с использованием датчиков различных конструкций. Основным требованием к датчикам такого типа является высокая структурная чувствительность, т. е. способность регистрировать изменения пространственных структур поляризованных молекул сложного состава путем измерения тока деполаризации. В разных типах жидких сред многокомпонентного состава формируются различные виды поляризационных структур и релаксационных механизмов, в силу чего обеспечение высокой структурной чувствительности достигается экспериментальным подбором конструктивных параметров датчика для конкретного вида жидкой или жидкодисперсной среды.

На практике для исследования жидкостей используют стандартный датчик [5], который содержит корпус, два металлических электрода, расположенных на фиксированном расстоянии друг от друга, причем каждый из электродов покрыт электроизоляционным материалом и имеет чувствительную часть в виде металлической поверхности. Такой датчик очень эффективен для исследования однокомпонентных систем. Например, в работах [6] и [7] для исследования биологических жидкостей методом изотермической деполяризации используют датчик, содержащий плоскопараллельные электроды. Однако, использование плоскопараллельного датчика при контроле расстояния между электродами по нониусу [8] не обеспечивает высокую оперативность при практической работе в лабораторных условиях.

В силу этого использование в экспериментах датчика с плоскопараллельными электродами не обеспечивает достаточную структурную чувствительность и высокую точность измерений при исследовании жидких сред различных видов, а также многокомпонентных сред изменяющегося состава. В связи с этим, разработка конструкции датчика для исследования жидких сред методом изотермической деполяризации остается актуальной проблемой.

### 1 Методика эксперимента

В экспериментах использовали компьютеризированный комплекс АДС-1 (анализатор дисперсных систем) [9]–[10]. Принцип действия анализатора состоит в наложении электромагнитного возмущения на жидкодисперсную систему, находящуюся в замкнутом объеме, с последующей регистрацией ее отклика. Для регистрации отклика системы в АДС-1 примененный для контроля жидкодисперсных систем метод изотермической деполяризации (ИТД). Схема измерительной установки прибора представлена на рисунке 1.1.

В работах [11]–[13] экспериментально показано, что жидкодисперсные системы с выраженной структурой гелей имеют на логарифмической зависимости тока деполяризации от времени несколько отчетливо выраженных линейных участков. Это означает, что в общем процессе релаксационного разряда электрически поляризованной системы в отдельные интервалы времени преобладает релаксация зарядов, локализованных на частицах различной природы или размера [2]. Графически это представляется в виде ломаной линии, изгибы, прямолинейные участки и углы наклона которой соответствуют поляризации компонентов дисперсной системы.

Для повышения структурной чувствительности датчика, повышения точности, достоверности измерений и удобства работы в лабораторных условиях при подборе конструктивных параметров

датчика для конкретного вида исследуемой жидкой среды разработан датчик, схема которого представлена на рисунке 1.2.

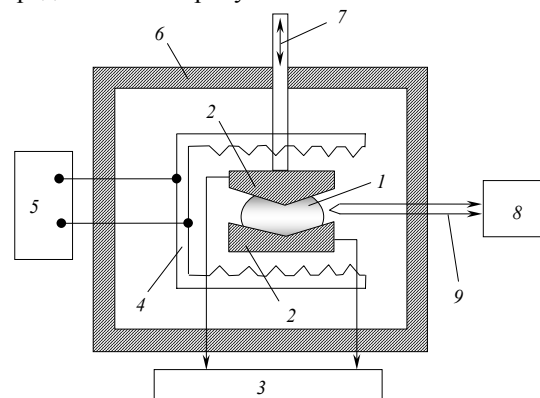


Рисунок 1.1 – Блок-схема экспериментальной установки для проведения изотермической деполяризации. 1 – исследуемый образец; 2 – электроды; 3 – АДС-1; 4 – нагреватель; 5 – источник питания для нагревателя; 6 – термостатированная измерительная камера; 7 – микрометрический винт; 8 – вольтметр; 9 – термопара

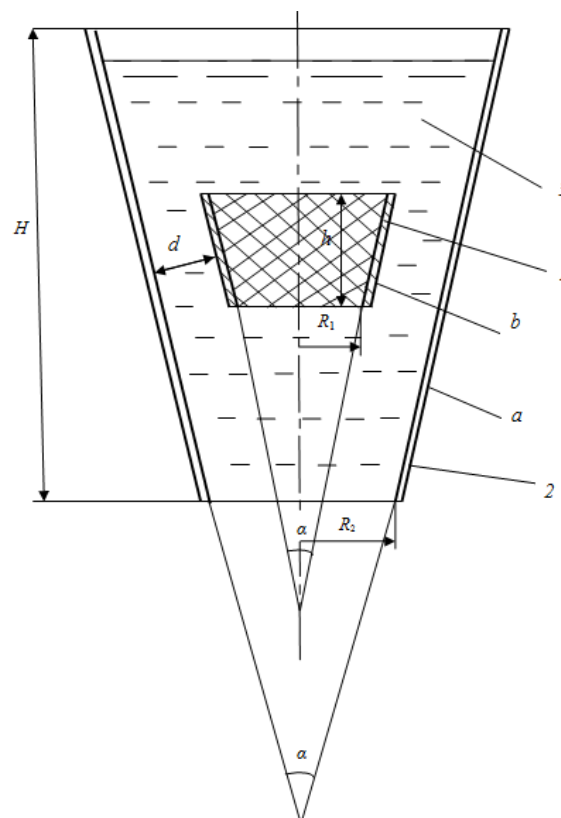


Рисунок 1.2 – Конусный датчик для исследования жидкостей: 1, 2 – электроды, 3 – исследуемая жидкость;  $R_1$  и  $R_2$  – наименьшие радиусы электродов,  $h$  и  $H$  – размеры электродов по оси,  $d$  – межэлектродное расстояние

Датчик содержит два измерительных электрода (1 и 2) в форме полых усеченных конусов.

Электрод 1 (подвижный внутренний) может перемещаться по одной оси с наружным электродом 2 без изменения уровня исследуемой жидкости 3. Поскольку угол  $\alpha$  при вершине обоих конусов одинаков, то образующие  $a$  и  $b$  конусов сохраняют параллельность при перемещении внутреннего электрода, и при этом не изменяется площадь электрического контакта измерительного объема с электродами, но изменяется расстояние  $d$  между электродами. При условии малости отношения  $d/h$  электрическое поле можно описать формулами для плоскопараллельного конденсатора [9], [14], при этом изменяется толщина межэлектродного зазора, а сам межэлектродный зазор сохраняет форму тела вращения, образованного двумя параллельными образующими  $a$  и  $b$ .

В качестве исследуемых жидкодисперсных систем использовали:

1) буровой раствор следующего состава: 20 мас.ч. гипана, 1 мас.ч. медного купороса, 4 мас.ч. глины, 20 мас.ч. пластификатора (силвит), 100 мас.ч. воды;

2) сыворотку крови человека.

В исследуемых жидкостях при их электрической поляризации возникает пространственный заряд, величина которого определяется структурой и составом жидкости, а также зависит от параметров поляризующего электрического поля. Плотность и однородность электрического поля определяется размерами и формой электродов, их взаимным расположением. Неправильный выбор последних способен инициировать в жидкой среде процессы, ограничивающие формирование пространственного заряда, приводящие к его ускоренной релаксации, что препятствует регистрации и правильной интерпретации результатов измерений.

## 2 Результаты исследования и обсуждение

Регистрация тока деполяризации, возникающего в связи с релаксацией пространственного заряда, позволяет определить индивидуальные структурные признаки жидкодисперсной среды, ее состав, а также их изменения, что является основой для оценки производных физико-химических, биологических и иных свойств.

В результате проведенных исследований по изучению влияния размеров межэлектродного зазора на характеристики датчика установлена зависимость структурной чувствительности от отношения длины меньшего электрода  $h$  к ширине зазора  $d$  (или по-иному – расстояния между чувствительными частями электродов) и определены оптимальные значения этого параметра ( $h/d$ ), при которых структурная чувствительность и точность достигают высоких значений: отношение длины меньшего электрода к ширине зазора не превышает десяти, но не меньше шести, т. е.  $6 \leq h/d \leq 10$ .

Ниже представлены результаты экспериментальных исследований по влиянию параметра

$h/d$  на структурную чувствительность при измерениях тока деполяризации для двух различных жидкостей – бурового раствора и сыворотки крови человека.

На рисунке 2.1 приведены зависимости логарифма отношения текущего значения тока деполяризации  $I(t)$  к его начальному значению  $I_0$  от времени  $t$ , т. е.  $\ln[I(t)/I_0]$ , полученные при исследовании бурового раствора. Кривая 1 соответствует конструкции датчика с соотношением  $h/d = 7$ , кривая 2 –  $h/d = 6$ , кривая 3 –  $h/d = 10$ . На рисунке показаны также сравнительные результаты измерений  $\ln(I/I_0)$  для конструкций датчиков, отличающихся отношением  $h/d$ , где кривая 4 соответствует  $h/d = 5$ , кривая 5 –  $h/d = 13$ .

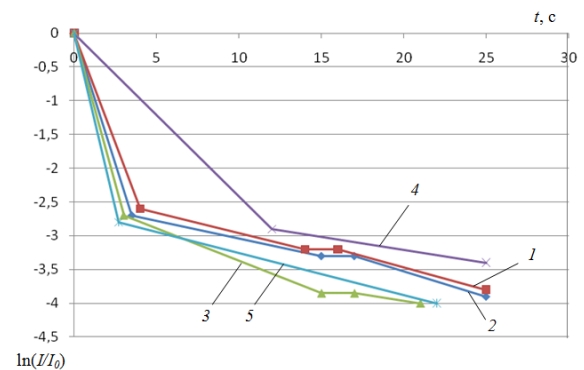


Рисунок 2.1 – Результаты исследования бурового раствора конусным датчиком с различным соотношением  $h/d$ : 1 – 7, 2 – 6, 3 – 10, 4 – 5, 5 – 13

Как видно из рисунка 2.1, кривые 1 – 3 имеют характерно выраженные точки пересечения прямолинейных отрезков разного наклона, а также горизонтальные отрезки (участки), свидетельствующие об изменениях структуры жидкости (т. е. датчики чувствительны к изменениям структуры). Кривые 4 и 5 не имеют горизонтальных участков, что свидетельствует о недостаточной структурной чувствительности датчиков с таким соотношением  $h/d$ , т. е. они не позволяют с достаточной точностью идентифицировать измерения структуры жидкодисперсной системы.

На рисунке 2.2 приведена зависимость  $\ln(I/I_0)$  от времени деполяризации  $t$  сыворотки крови человека, измеренная конусным датчиком с различным соотношением  $h/d$ . Излом на кривой 1 свидетельствует об изменении механизма поляризации, т. е. о перестройке структуры жидкости, в то время как плавный ход изменения зависимости 2 не позволяет судить о структурных перестройках в сыворотке крови.

Таким образом, при выборе размеров датчика из указанного интервала соотношений  $h/d$  обеспечивается необходимая и достаточно высокая структурная чувствительность для любых типов и видов поляризованных жидкодисперсных систем, что обеспечивает возможность точного измерения в них тока деполяризации и производных

от него физико-химических свойств. Благодаря этому, один и тот же датчик может быть использован для исследования различных двух- и многокомпонентных жидкодисперсных систем.

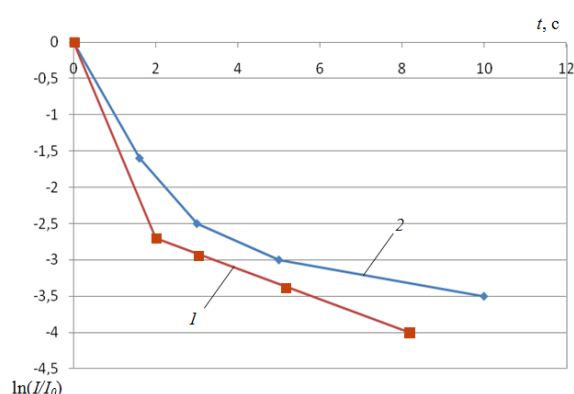


Рисунок 2.2 – Результаты исследования сыворотки крови конусным датчиком с соотношением  $h/d$ : 1 – 6, 2 – 30

Если размеры межэлектродного зазора таковы, что отношения длины меньшего электрода к ширине зазора между электродами меньше 6 или больше 10 ( $h/d < 6$  или  $h/d > 10$ ), то структурная чувствительность для большинства жидкодисперсных систем становится неудовлетворительной, что ограничивает возможности точных и достоверных измерений тока деполяризации в таких системах.

### Заключение

Использование конусного датчика дает значительное повышение качества измерений за счет плавного изменения рабочего зазора, обеспечивающего высокую точность измерений, особенно при применении микрометрических винтов.

В отличие от датчика с плоскопараллельными электродами, конусный датчик позволяет обеспечить высокую структурную чувствительность и точность измерений тока деполяризации и производных от него физико-химических параметров. Высокая структурная чувствительность и точность измерений позволяют использовать датчик для контроля состояния жидкодисперсных сред как стабильного, так и переменного состава и для исследования протекающих в них процессов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Шаламов, И.В. Об электрофизических и физико-химических свойствах буровых растворов // И.В. Шаламов. – Проблемы комплексного изучения геологии и полезных ископаемых БССР. – Минск, БелНИГРИ, 1985. – С. 137–140.
2. *Electrets* / Ed. G.M. Sessler. – Berlin: Springer-Verlag, 1987. – 453 p.

3. Пинчук, Л.С. Электретные материалы в машиностроении / Л.С. Пинчук, В.А. Гольдаде. – Гомель: Инфотрибо, 1998. – 288 с.

4. Гольдаде, В.А. Электретные пластмассы: физика и материаловедение / В.А. Гольдаде, Л.С. Пинчук. – Минск: Наука и техника, 1987. – 231 с.

5. *Применение метода изотермической деполяризации для анализа дисперсных систем* // В.Ш. Шмавоняц [и др.]. – Весці Акадэміі навук БССР. Серыя хімічных навук. – 1985. – № 3. – С. 28–29.

6. Сорока, И.Ф. Электрофизиологическое исследование сыворотки крови больных ревматическими заболеваниями в сочетании с инфицированием вируса гепатита С // И.Ф. Сорока. – Российский гастроэнтерологический журнал. – 1998. – № 4. – С. 22.

7. Патент РБ на полезную модель 3764, G01N 33/48. Устройство для диагностики вируса гепатита С / С.В. Губкин [и др.]; дата публ.: 30.08.2007.

8. Свидетельство на полезную модель RU 29588, G01N27/02. Датчик для исследования жидкостей / Шаламов И.В. [и др.]; дата публ.: 20.05.2003.

9. Шаламов, И.В. Исследование электрофизических свойств жидкодисперсных систем методом изотермической деполяризации / И.В. Шаламов, И.Ю. Ухарцева, Е.А. Цветкова, В.А. Гольдаде. – *Материаловедение*. – 2003, № 3. – С. 26–30.

10. Шаламов, И.В. Программно-аппаратный комплекс для контроля жидкодисперсных систем / И.В. Шаламов, И.Ю. Ухарцева, Е.А. Цветкова, В.А. Гольдаде. – *Приборы и техника эксперимента*. – 2002. – № 6. – С. 143–144.

11. Шаламов, И.В. Получение малоглинистых буровых растворов с заданными характеристиками по их электрофизическим свойствам: Обзорн. информ. / И.В. Шаламов, Л.К. Мухин, В.Ш. Шмавоняц, И.Н. Полосина / Серия Техника и технол. геолого-развед. работ; орг. пр-ва. – М.: ВИЭМС. 1986. – 63 с.

12. Ухарцева, И.Ю. Поляризационные характеристики наполненных гелей на основе поливинилового спирта / И.Ю. Ухарцева, И.В. Шаламов, Е.А. Цветкова и др. // *Пластические массы*. – 1998. – № 6. – С. 40–42.

13. Ukhartseva, I. Filled gels on water - soluble polymers / I. Ukhartseva, E. Tsvetkova. – 7 th European Polymer Federation Symposium on Polymeric Materials, Szczecin, Poland, September 20–24, 1998. – P. 115.

14. Шаламов, И.В. Применение кондуктометрического метода при изучении структуры полимерных растворов / И.В. Шаламов, В.А. Гольдаде, Е.А. Цветкова. – *Материалы. Технологии. Инструменты*. – 2007. – Т. 12, № 3. – С. 94–101.

Поступила в редакцию 10.11.14.