

УДК 537.29:541.182.4/6

Е. А Цветкова, И. Ю. Ухарцева, В. А. Гольдаде,
И. В. Шаламов

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЖИДКОДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМАХ

Ключевые слова: поляризационные процессы, анализатор дисперсных систем, буровые растворы, гели поливинилового спирта, биологические жидкости, скрининг-диагностика.

Методом изотермической деполяризации изучены поляризационные процессы в жидкодисперсных системах: буровых растворах, гелях высокомолекулярных соединений, биологических жидкостях. Представлены возможности анализатора дисперсных систем для осуществления экспертной оценки исследуемых объектов, анализа параметров технологических процессов и скрининг-диагностики различных заболеваний.

Keywords: polarization processes, the analyzer of disperse systems, drilling fluids, gels of polyvinyl alcohol, biological fluids, screening and diagnostics.

Polarization processes in liquid disperse systems: drilling fluids, gels of high molecular compounds, biological fluids are studied by the method of isothermal depolarization. The possibilities of the analyzer of disperse systems for the implementation of expert evaluation of objects and analysis of process parameters and screening for diagnosis of various diseases are presented.

Введение

Существование современной цивилизации и самого человека связано с дисперсными системами. Дисперсными являются все живые системы, воздух, многие пищевые продукты, полупродукты и продукты их переработки. Многие лекарственные вещества производятся в форме тонких суспензий или эмульсий, мазей, паст или кремов. Биологические жидкости человека, мышечные и нервные клетки, волокна, гены – все это высокодисперсные образования. Некоторые технологические жидкости, например, буровые и тампонажные растворы, гелеобразующие составы для ликвидации аварий также представляют собой дисперсные системы [1].

Установлено, что органические и неорганические электролиты, макромолекулы полимеров-стабилизаторов, ферменты и аминокислоты по-разному передвигаются под влиянием тока, поворачиваются и вытягиваются по полю. Под влиянием сил электрического поля происходит ориентация по полю дипольных молекул, частиц и макромолекулярных образований, квазидиполей, перемещение на макрорасстояния физических носителей заряда [2]. В веществе создается пространственно неоднородное распределение носителей заряда и потенциала, оно переходит из равновесного состояния в неравновесное, возбужденное и запасает некоторое количество электрической энергии. После снятия поляризующего поля вещество релаксирует к первоначальному равновесному состоянию, отдавая накопленную энергию. Так как этот процесс не может произойти мгновенно, он осуществляется в течение некоторого времени разряда. При этом совершается работа против сил внутреннего трения, по изменению пространственного расположения зарядов, их нейтрализации и пр. В течение времени разряда по внешней электрической цепи течет ток деполяризации. Существование тока деполяризации означает сохранение в течение некоторого времени поляризованного состояния дисперсной системы и соответствует проявлению ею электрического эффекта [3, 4].

Цель исследования состоит в изучении поляризационных процессов в жидкодисперсных системах и возможности их использования для анализа параметров процессов, протекающих в данных системах.

Методика исследования

Изучение поляризационных процессов в жидкодисперсных системах проводили методом изотермической деполяризации. Метод изотермической деполяризации (ИТД) относится к кондуктометрическим методам, для которого характерна высокая чувствительность к изменениям содержания веществ в многокомпонентной системе. При изменении содержания компонента происходит закономерное изменение полного поляризационного заряда, частного времени релаксации на отдельных участках ломаной линии. Имея физико-химическую корреляцию между временем релаксации и концентрацией компонента, можно определить его концентрацию в многокомпонентной системе.

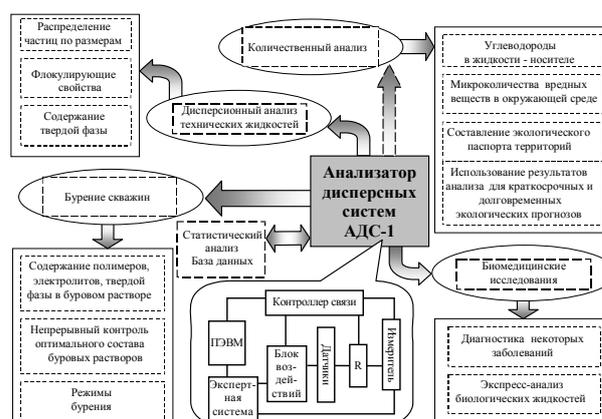


Рис. 1 – Структурная схема и технические возможности АДС-1

Исследования проводили с помощью компьютеризированного программно-аппаратного комплекса – анализатора дисперсных систем АДС-1. Технические характеристики АДС-1 позволяют реализовать

различные виды электрических измерений, используемых при изучении состава и свойств вещества. Методика эксперимента основана на регистрации отклика системы на электрический импульс [5]. Технические возможности и структурная схема комплекса представлены на рисунке 1.

Результаты и их обсуждение

Известно, что буровые растворы состоят из большого числа компонентов различной природы (органические и неорганические электролиты, макромолекулы полимеров-стабилизаторов, включения углеводов, частицы твердой фазы), которые по-разному реагируют на наложение электрического поля.

В процессе проходки скважины в буровой раствор поступают выбуренная глинистая порода, минеральные соли. Для контроля такого раствора используют метод сравнения с эталоном. Применяя заранее приготовленные эталоны с закономерным изменением каждой из примесей, с помощью АДС-1 было оценено соответствие раствора заданной рецептуре, его структуру, технический и концентрацию основных компонентов. Любые изменения в компонентном составе раствора находят отражение в ходе кривых деполяризации [6].

Для различных изменений в составе растворов методом ИТД были получены результаты, анализ которых позволил составить идентификационную таблицу видовых изменений [2, 6]. Наличие такой информации в процессе бурения скважины позволяет проследивать тенденции развития основных структурообразующих процессов под влиянием внешних факторов, повышать стабильность раствора и снижать расхода реагентов за счет оперативного поддержания оптимального состава раствора в соответствии с предлагаемой рецептурой.

На рисунке 2 представлены кинетические зависимости деполяризации бурового раствора при введении в него различных компонентов. Видно, что добавление компонентов оказывает влияние на кинетику деполяризации, которая определяется как видом наполнителя, так и его содержанием. Кривые деполяризации характеризуются наличием прямолинейных участков и перегибов, соответствующих компонентному составу и структуре системы. Появление перегибов на кривых предполагает возникновение дополнительного механизма деполяризации (по-видимому, Максвелла-Вагнера) [7]), который связан с физико-химическим взаимодействием жидкой основы бурового раствора и добавок. Влияние добавок различного рода (наполнителей, красителей, модификаторов) на термостимулированные токи гетерогенных полимерных систем известно [8-10].

Высокая чувствительность метода ИТД к колебаниям состава буровых растворов позволяет избежать применения трудоемких экспериментальных методик и не требует значительных затрат времени. В технологии контроля буровых растворов АДС-1 может заменить классический дисперсионный анализ при оценке влияния различных химических обработок на взвешенные в растворе частицы глины.

На рис. 3 видно, что полученные с помощью прибора данные достаточно информативны при разработке инги-

бирующих и малоглинистых растворов. Оперативный контроль за распределением дисперсных частиц по размерам (выполняется в течение 10 с) позволил повысить эффективность технологических процессов изготовления эмалей, лаков, красок [6].

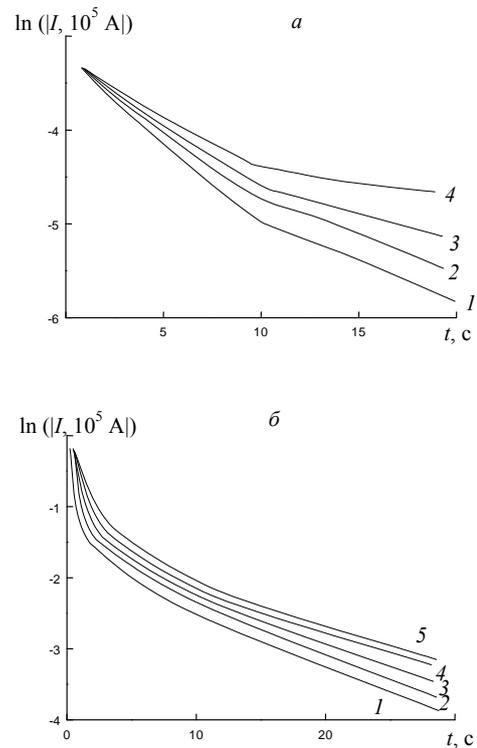


Рис. 2 – Кинетические кривые деполяризации буровых растворов, при концентрации наполнителя (мас. %): 1 – 1,3; 2 – 2,0; 3 – 2,8; 4 – 4,0; (а) NaCl; при концентрации наполнителя (мас. %): 1 – 1,9; 2 – 3,8; 3 – 7,5; 4 – 15,0; 5 – 30,0. (б) крахмал + 0,5 % NaOH

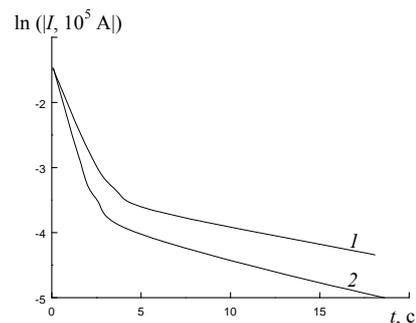


Рис. 3 – Кинетические кривые деполяризации малоглинистого бурового раствор при различном состоянии дисперсной системы (концентрация глины 4 мас. %): 1 –взмученная глина; 2 – осевшая глина

Методом ИТД были исследованы поляризационные характеристики композиционных материалов на основе высокомолекулярных соединений – гелей поливинилового спирта (ПВС), наполненных различными соединениями синтетического и природ-

ного происхождения (желатин, крахмал, папаин, На-карбоксиметилцеллюлоза и др.) (рис. 4, 5).

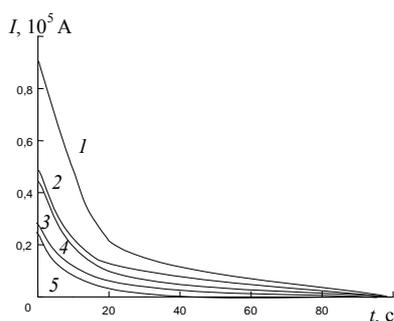


Рис. 4 – Кинетика спада заряда ИТД в наполненных (5 %) гелях ПВС в зависимости от вида наполнителя: 1 – папаин, 2 – карбоксиметилцеллюлоза; 3 – желатин, 4 – Na карбоксиметилцеллюлоза; 5 – крахмал

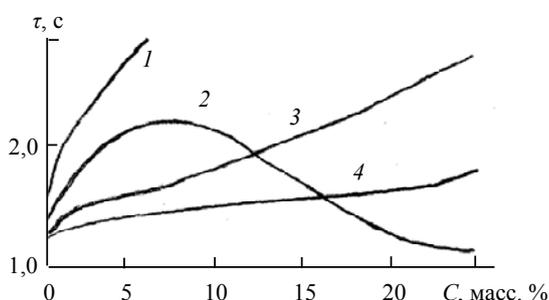


Рис. 5 – Зависимость времени релаксации поляризационного заряда (τ) в гелях ПВС от вида и концентрации (C) наполнителей: 1 – папаин 2 – Na-карбоксиметилцеллюлоза, 3 – карбоксиметилцеллюлоза; 4 – желатин

Анализ кинетических зависимостей спада заряда показал, что деполяризация в значительной мере определяется физико-химическим взаимодействием наполнителя и полимерной матрицы [11, 12]. Метод позволил дифференцировать наполнители по их влиянию на поляризационные характеристики гелей с целью возможности регулирования анизотропии их свойств. Это открывает новые пути для разработки материалов, пригодных для имплантации и обеспечивающих пролонгированное действие лекарственных веществ.

Экспериментально установлено [13] влияние поля частиц мелкодисперсного феррита бария ($BaOx6Fe_2O_3$) на структурные характеристики и свойства гелей. Результаты исследования поляризационных характеристик ферритонаполненных гелевых систем открывают новые возможности для разработки лекарственных препаратов и различных материалов медицинского назначения [14, 15].

Изучение поляризационных процессов в биологических жидкостях человеческого организма создает принципиально новые диагностические возможности. С точки зрения задач чисто физико-математического описания и формулировки классификационных признаков они собой более удобные объекты, чем техно-

логические жидкодисперсные системы. Биологические жидкости организма человека дают индивидуальные, хорошо воспроизводимые и классифицируемые отклики на внешнее поляризующее воздействие электрического импульса определенной формы. Изменение биохимического состава биологических сред организма под влиянием внешних и внутренних отрицательных воздействий, в том числе и при заболеваниях, ведет к изменению электретных свойств и релаксационных механизмов, и, следовательно, результирующей спектральной характеристики. Химический состав, дисперсность, границы раздела у них колеблются в достаточно узких пределах около нормативных показателей; имеются уже определенные стандартными методами допустимые интервалы отклонений при различных заболеваниях, а также по возрасту и полу.

Например, моча, взятая у практически здоровых лиц, урологических больных и агонизирующих больных реанимационного отделения по своим поляризационным характеристикам существенно отличается (рис. 6).

При обследовании больных железодефицитной анемией получены результаты, позволяющие количественно оценить содержание сывороточного железа в крови. Установлено существование двух областей с разным направлением изменения характеристик деполяризации.

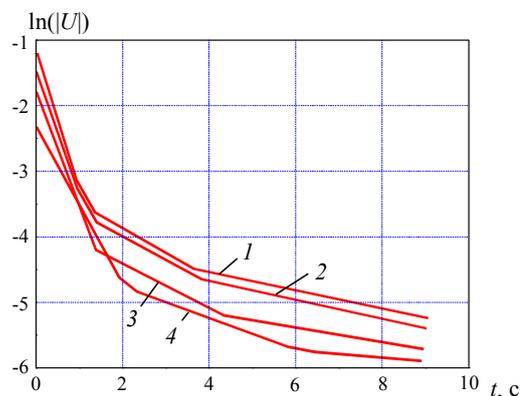


Рис. 6. – Кривые деполяризации мочи различных групп пациентов: 1 – урологические больные; 2 – больные реанимационного отделения; 3 – здоровые лица; 4 – больные пиелонефритом

При содержании сывороточного железа в областях $5 < [Fe] < 8$ и $9 < [Fe] < 20$ мкмоль/л имеется переходная область. В указанных областях наблюдаются различные корреляционные зависимости времени релаксации от содержания сывороточного железа (рисунок 7).

Величина тока деполяризации позволяет идентифицировать растворимые антигены вируса гепатита С в сыворотке крови, в группе больных ревматическими заболеваниями и устанавливать дополнительные дифференциально-диагностические различия при ревматических заболеваниях. При обоих заболеваниях ток деполяризации значительно превышает нормальные величины, что, по-видимому,

связано с различным белковым составом сывороток крови и преобладанием при ревматизме крупных молекул иммуноглобулинов, препятствующих быстрой деполяризации сыворотки у больных с иммунной патологией [16].

Проведены эксперименты по исследованию поляризационных процессов модельных систем – дистиллированной воды и эмульсий известных марок бензинов в различных объемных соотношениях с дистиллированной водой (рис. 8).

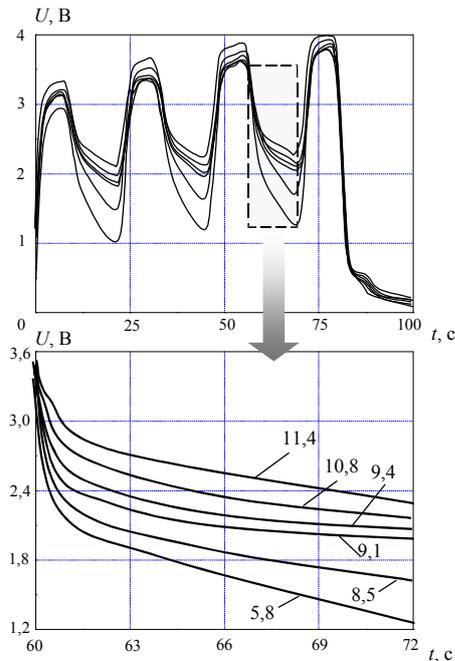


Рис. 7 – Изменение поляризационных характеристик сыворотки крови больных железодефицитной анемией при различном содержании железа *in vivo*

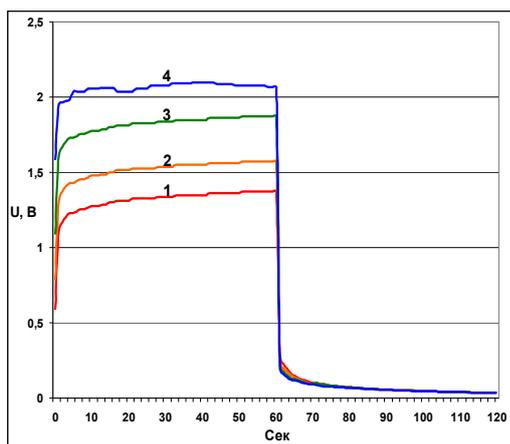


Рис. 8 – Оценка электрофизических свойств модельных эмульсий бензина АИ-92 в различных объемных соотношениях и дистиллированной воды: 1 – бензин/вода = 1:100; 2 – бензин/вода = 1:1000; 3 – бензин/вода = 1:10000; 4 – дистиллированная вода

Установлено, что дистиллированная вода приходит в относительно устойчивое состояние через 4 часа, а через 24 часа – практически не изменяется. При уменьшении концентрации бензина поляризационное

напряжение растёт, скорость падения кривой диэлектрических потерь уменьшается и возрастает напряжение деполяризации – т.е. система закономерно стремится к состоянию и характеристикам дистиллированной воды, не содержащей бензина. На основании этого сформированы эталонные кривые различных концентраций известных марок бензинов и дизельного топлива [17]. Полученные данные можно использовать для мониторинга загрязнённости природных вод органическими контаминантами.

Заключение

Таким образом, изучение поляризационных характеристик различных жидкодисперсных систем дает возможность осуществлять экспертную оценку состояния исследуемых объектов, используя их графическое отображение в режиме реального времени. Использование АДС-1 позволяет автоматизировать процесс накопления больших массивов данных и использовать математический аппарат для статистической обработки и их анализа, а также определения малых отклонений от эталона, нормального хода технологического процесса, скрининг-диагностики различных заболеваний и мониторинга природной среды.

Литература

1. Kestelman N., Pinchuk L., Goldade V. *Electrets in Engineering: Fundamentals and Applications*. – Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000. – 281 p
2. Шаламов И.В., Евтушенко Г.С., Ушаков Ю.В., Полосина И.Н. О поляризационных свойствах некоторых модельных систем // *Технология и проблемы экологии строительства глубоких скважин в Белоруссии*: Сб. научных трудов БелНИГРИ: – Минск, 1996. – С. 53–65.
3. Пинчук Л.С., Гольдаде В.А. *Электретные материалы в машиностроении* – Гомель: Инфотрибо, 1998. – 288 с.
4. Галиханов М.Ф., Дебердеев Р.Я. Полимерные коронозлектреты: Традиционные и новые технологии и области применения. // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2010. – № 4. – С. 45–57.
5. Шаламов И.В., Ухарцева И.Ю., Цветкова Е.А., Гольдаде В.А. Программно-аппаратный комплекс АИР-1 для контроля жидкодисперсных систем // *Приборы и техника эксперимента*. – 2002. – №6. – С. 143–144.
6. Шаламов И.В., Полосина И.Н. Возможности новых методов контроля качества буровых растворов // *Техника и технология бурения разведочных скважин в Припятском прогибе*: Сб. научных трудов БелНИГРИ: – Минск, 1998. – С.47–55.
7. Ed. Sessler G.M. *Electrets* – Berlin: Springer – Verlag, 1987. – 453 p.
8. Галиханов М.Ф. Коронозлектреты на основе полиэтиленовых композиционных материалов (обзор) // *Материаловедение*. – 2008. – № 7. – С. 15–30.
9. Галиханов М.Ф., Еремеев Д.А., Дебердеев Р.Я. Влияние диоксида титана на электретные свойства полиэтилена высокого давления // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2003. – № 1. – С. 299–305.
10. Галиханов М.Ф., Еремеев Д.А., Дебердеев Р.Я. Влияние наполнителя на электретный эффект в полистироле // *Вопросы материаловедения*. – 2003. – № 2(34). – С. 32–38.

11. Ухарцева И.Ю., Цветкова Е.А., Шаламов И.В., Гольдаде В.А. Поляризационные характеристики наполненных гелей на основе поливинилового спирта // Пластические массы – 1998. – №6. – С. 40–42.
12. Ukhartseva I., Tsvetkova E. Filled gels on water-soluble polymer // 7-th European Polymer Federation Symposium on Polymeric Materials, Szczecin, Poland, September 20–24, 1998. – P. 115.
13. Ухарцева И.Ю., Цветкова Е.А., Пинчук Л.С. Поляризационные характеристики ферритонаполненных гелей на основе поливинилового спирта // Биологическое и лечебное действие магнитных полей: Материалы Межд. научно-практ. конф. по магнитологии. – Витебск, 27–28 января 1999. – С.61–63.
14. Ухарцева И.Ю. Влияние температурных воздействий на структуру и физико-механические свойства наполненных гелей поливинилового спирта // Пластические массы – 2002. – № 8. – С. 15-17.
15. Ухарцева И.Ю., Цветкова Е.А. Свойства наполненных гелей на основе поливинилового спирта // Полимерные композиты-98: Сб. трудов Межд. научно-техн. конф., Гомель, Беларусь, 29–30 сентября 1998. – С. 195–198.
16. Губкин С.В., Грицук А.В., Шаламов И.В., Полянская А.В. Применение анализатора дисперсных систем для диагностики вируса гепатита С // [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.medocenka.ru/primeneniye-analizatora-dispersnyih-sred-dlya-diagnostiki-virusa-hepatita-s-1178-3.html> – Дата доступа 09.02.2016. – Загл. с экрана.
17. Чеховский А.Л., Цветкова Е.А., Гольдаде В.А. Исследование электрофизических свойств эмульсий углеводов // ПОЛИКОМТРИБ-2013: Материалы межд.научно-техн. конф., Гомель, Беларусь, Июнь 24–27, 2013. – С. 53.

© **Е. А. Цветкова**, доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры зоологии, физиологии и генетики Учреждения образования «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины» (г. Гомель, Беларусь). E-mail: tsvetkova@tut.by; **И. Ю. Ухарцева**, доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры товароведения Учреждения образования «Белорусский торгово-экономический университет потребительной кооперации» (г. Гомель, Беларусь). E-mail: ukhartseva@yandex.ru; **В. А. Гольдаде**, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры радиофизики и электроники Учреждения образования «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины» (г. Гомель, Беларусь). E-mail: viktor.goldade@gmail.com; **И. В. Шаламов**, заведующий отделом, ООО «ВИНЭКС», (г. Минск, Беларусь). E-mail: ShalamovIV@tut.by.

© **E. A. Tsvetkova**, assistant professor, Ph. D. (Tech.), assistant professor of Chair of zoology, physiology and genetics, Francisk Skorina Gomel State University (Gomel, Belarus). E-mail: tsvetkova@tut.by; **I. Yu. Ukhartseva**, assistant professor, Ph. D. (Tech.), assistant professor of Chair of commodities science, Belarusian Trade and Economics University of Consumer Cooperatives (Gomel, Belarus). E-mail: cilodak@mail.ru; **V. A. Goldade**, professor, Dr. Sci. (Tech.), professor of Chair of radio-physics and electronics, Francisk Skorina Gomel State University (Gomel, Belarus). E-mail: viktor.goldade@gmail.com; **I. V. Shalamov**, chief of department «VINEХ». (Minsk, Belarus). E-mail: ShalamovIV@tut.by.