

УДК 661.728

ОСОБЕННОСТИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СИСТЕМ

*Н.А. Кирющенко¹, Т.Н. Исхаков¹, В.Я. Базотов¹, В.Г. Джангириян²,
Д.В. Фадеев²*

¹ Казанский национально-исследовательский технологический университет
РТ, 420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68

² АО «МПЗ»
Россия, 602205, Владимирская обл., г. Муром, ул. Ленинградская, 7

Методом широкополосной диэлектрической спектроскопии исследованы диэлектрические свойства конденсированных систем в широком диапазоне частот и температур. Количественный анализ диэлектрических спектров конденсированных систем проведен с использованием модельной функции Гаврильяка – Негами (HN) с термом проводимости и установлены существенные различия в параметрах. В результате проведенных исследований установлено, что данные вещества обладают невысокими значениями параметров диэлектрического отклика – диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь. Изучены особенности диэлектрического отклика порошкообразных образцов конденсированных систем и показано, что существенный вклад в диэлектрические спектры вносят явления максвелл-вагнеровской поляризации, электродные эффекты и сквозная проводимость образцов.

Ключевые слова: конденсированные системы, диэлектрическая спектроскопия, диэлектрическая проницаемость, диэлектрические потери, время релаксации, энергия активации.

Изучение диэлектрических свойств вещества, то есть исследование поведения его комплексной диэлектрической проницаемости в зависимости от частоты, температуры, давления, напряженности электрического поля и прочих факторов, имеет весьма важное научное и техническое значение. Эти исследования позволяют выяснить некоторые закономерности строения молекул, недоступные другим методам, а также дают возможность получить новые необходимые технике изоляционные материалы с заданными свойствами (например, малыми потерями).

На сегодняшний день разработаны и производятся установки, позволяющие производить измерения в широком диапазоне частот при изменении температуры образца в заданном температурном интервале. Мировое признание получили диэлектрические спектрометры фирмы Novocontrol.

Объектами исследования являлись энергонасыщенные материалы (ЭНМ) [1].

В данной работе для диэлектрических исследований использовался метод широкополосной диэлектрической спектроскопии (BDS) [2]. Изучение диэлектрических свойств данных объектов проводилось на диэлектрическом спектро-

Наталья Александровна Кирющенко, аспирант.

Тимур Накибович Исхаков (к.т.н.), доцент каф. ТТХВ.

Виктор Яковлевич (д.т.н.), профессор кафедры ТТХВ.

Валерий Гургенович Джангириян (д.т.н.), профессор, генеральный директор.

Дмитрий Владимирович Фадеев, заместитель главного инженера по технологии и инновациям.

метре NOVOCONTROL CONCEPT-80 в диапазоне частот от $1 \cdot 10^{-2}$ до $1 \cdot 10^6$ Гц при разных температурах. Контроль и автоматическое регулирование температуры осуществлялись системой QUATRO CRYOSYSTEM. Теплоносителем служили пары сжиженного азота. Измерения проводились по схеме плоского конденсатора с использованием ячейки BDS 1308. Автоматическое управление экспериментом осуществлялось программой Win Deta с использованием техники 3D-измерений. В процессе эксперимента регистрировались и сохранялись все диэлектрические параметры. Для каждой температуры производили измерения при 42 различных значениях частоты. Точность регулирования температуры составила $\pm 0,5$ °С.

На рис. 1, 2 представлены диэлектрические спектры проницаемости и потерь исследуемых материалов.

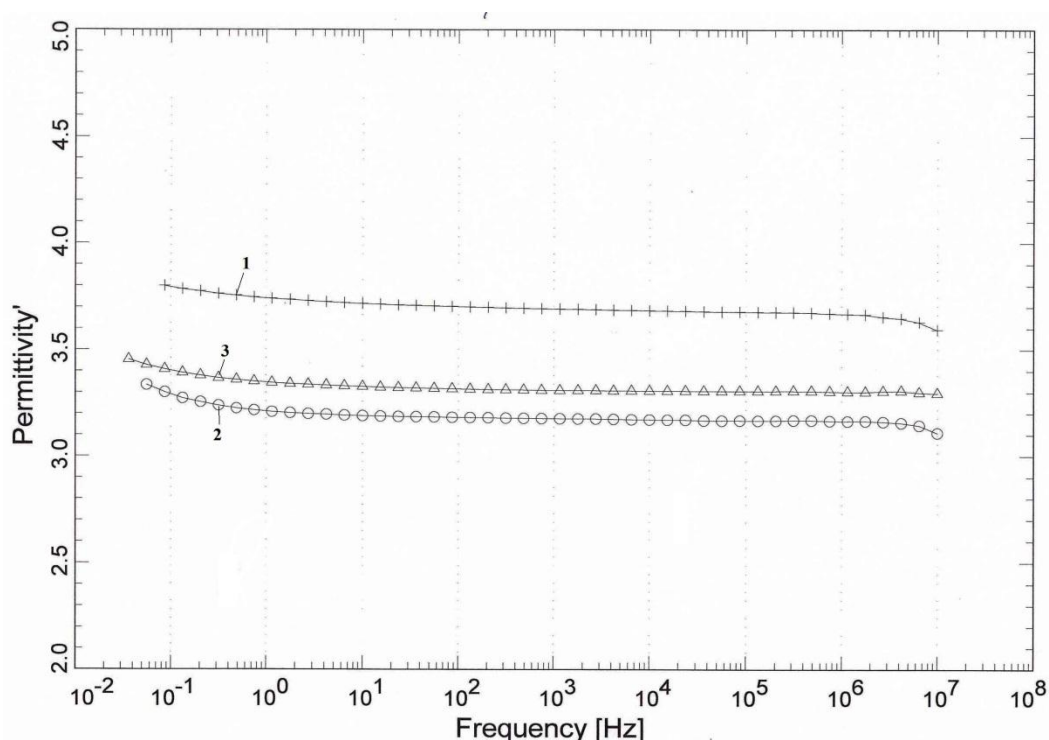


Рис. 1. Диэлектрические спектры реальной составляющей диэлектрической проницаемости (ϵ') при температуре 298 К:
1 – ЭНМ № 1; 2 – ЭНМ № 2; 3 – ЭНМ № 3

Для количественного анализа диэлектрических свойств был произведен фитинг полученных спектров. Фитинг – это техника обработки диэлектрических спектров, заключающаяся в подборе параметров той или иной модельной функции [3]. Анализ диэлектрических спектров был проведен с использованием в качестве фитинговой функции уравнения Гаврильяка – Негами (HN) с термом проводимости.

Уравнение Гаврильяка – Негами:

$$\epsilon^*(\omega) = \epsilon_\infty + \frac{\Delta\epsilon}{1+(j\omega\tau)^{\alpha\beta}} + j\left[\frac{\sigma_0}{\epsilon_0\omega}\right], \quad (1)$$

где ϵ^* – комплексная диэлектрическая проницаемость; ϵ_∞ – высокочастотная диэлектрическая проницаемость; $\Delta\epsilon$ – дисперсия; ω – частота; τ_{HN} – время релаксации; α и β – параметры, которые описывают симметричное и несимметричное расширение комплексной диэлектрической функции ($0 < \alpha < 1$; $0 < \beta < 1$); σ_0 – электропроводность при постоянном токе; j – мнимая единица [4].

Обработка спектров для определения энергии активации (E_a) проводилась с использованием программы Win Fit. Анализ активационных кривых производился в соответствии с уравнением Фогеля – Фалчера – Таммана.

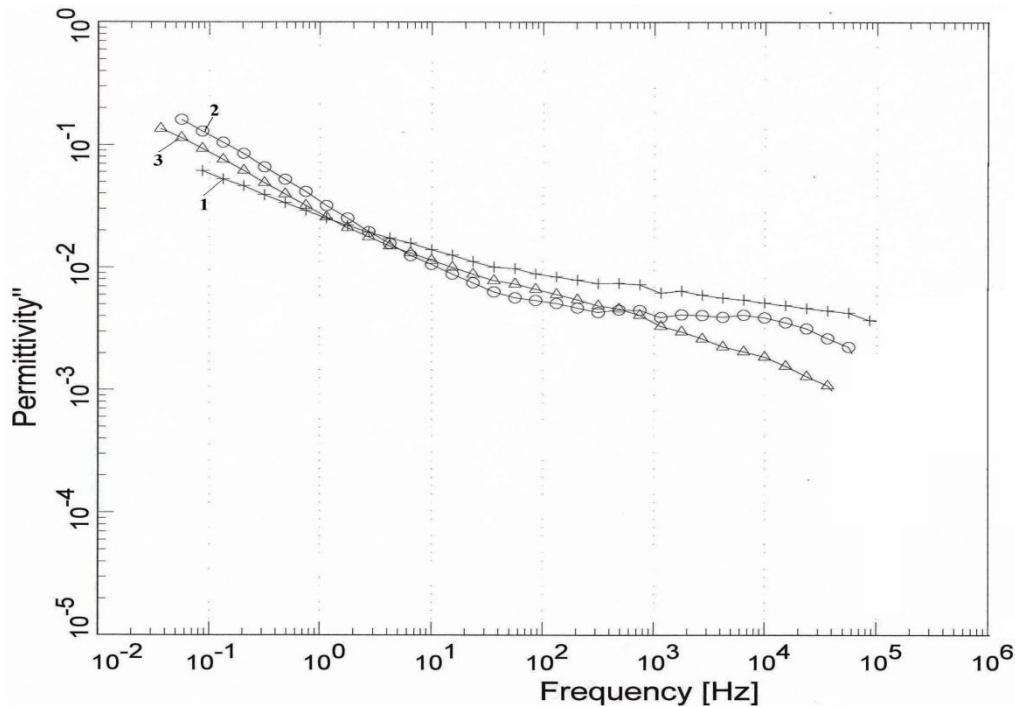


Рис. 2. Диэлектрические спектры диэлектрических потерь (ϵ'') при температуре 298 К:
1 – ЭНМ № 1; 2 – ЭНМ № 2; 3 – ЭНМ № 3

В результате проведенных исследований установлено, что данные вещества обладают невысокими значениями параметров диэлектрического отклика – диэлектрической проницаемости ($\epsilon'_1 = 3,691$; $\epsilon'_2 = 3,176$; $\epsilon'_3 = 3,310$) и диэлектрических потерь ($\epsilon''_1 = 6,213 \cdot 10^{-3}$; $\epsilon''_2 = 3,925 \cdot 10^{-3}$; $\epsilon''_3 = 3,318 \cdot 10^{-3}$). В связи с этим существенное влияние на результаты измерения абсолютных значений диэлектрической проницаемости и потерь оказывает пористость образцов, точность измерения геометрии образца, характер взаимодействия токопроводящих электродов с поверхностью образца. Изучены особенности диэлектрического отклика порошкообразных образцов конденсированных систем и показано, что существенный вклад в диэлектрические спектры вносят явления максвелл-вагнеровской поляризации, электродные эффекты и сквозная проводимость образцов [3].

Для тринитротолуола выявлена молекулярная релаксационная поляризация, наблюдаемая в области низких температур. Установлено, что электропроводность образцов тринитротолуола, очищенных методом перекристаллизации, более чем на порядок ниже, чем для образцов штатного тринитротолуола.

Исследования температурной зависимости комплексной электропроводности выявили «прыжковый» характер проводимости конденсированных систем, который связывается с наличием примесей, с энергией активации $E_a \approx 21$ кДж/моль.

Таким образом, несмотря на отсутствие молекулярной релаксации в кристаллических диэлектриках, к которым относятся исследованные конденсированные системы, метод широкополосной диэлектрической спектроскопии представляет возможность исследования межфазных взаимодействий в конденсированных системах на основе анализа максвелл-вагнеровской поляризации и транспорта носителей электрических зарядов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вахидов Р.М., Куражов А.С., Хадиева Д.А., Исхаков Т.Н. Безопасный газогенерирующий состав для электродетонатора без инициирующих ВВ // Вестник КТУ. – 2011. – № 18. – С. 308–310.
2. Исхаков Т.Н., Кирюценкова Н.А., Петров А.В., Гибадуллин М.Р. и др. Исследование диэлектрических свойств целлюлозы и наноцеллюлозы методом широкополосной диэлектрической спектроскопии // Вестник КТУ. – 2012. – № 16. – С. 12–15.
3. Kremer F. Broadband Dielectric Spectroscopy. – Berlin, 2003. – 729 p.
4. Фрелих Г. Теория диэлектриков: Пер. с англ. – М., 1960.

Статья поступила в редакцию 20 января 2015 г.

FEATURES DIELECTRIC PROPERTIES CONDENSED SYSTEMS

***N.A. Kirshenkova¹, T.N. Iskhakov¹, V.Y. Bazotov¹, V.G. Dzhangiryan²,
D.V. Fadeev²***

¹ Kazan National Research Technological University
68, Karl Marx st., Kazan, 420015, RT

² АО “MPZ”
7, Leningradskaya st., Murom, Vladimirski region, 602205, Russian Federation

Method of broadband dielectric spectroscopy is investigated dielectrical properties of condensed matter systems in a wide range of frequencies and temperatures. Quantitative analysis of dielectric spectra of condensed systems carried out using a model function Havriliak – negatives (HN) с thermal conductivity and established significant differences in the parameters.

Keywords: *condensed systems, dielectric spectroscopy, dielectric constant, dielectric loss, relaxation time, activation energy.*

Natalia A. Kirshenkova, Postgraduate Student.

Timur N. Iskhakov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.

Viktor Y. Bazotov (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.

Valery G. Dzhangiryan (Dr. Sci. (Techn.)), Professor, General Manager.

Dmitry V. Fadeev, Deputy Chief Engineer.