

10. *Dorrer H., Knepe H., Kuss E., Schneider F.* Measurement of rotational viscosity, 7., of nematic liquid crystals under high pressure// *Liquid crystals*. V. 1. № 6. P. 573-582.
11. *Diogo A.C., Martins A.F.* Thermal behavior of the twist viscosity in a series of homologous nematic liquid crystals.// *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 1981. V. 66, P.133-146.
12. *Maier W., Saupe A.* Eine einfache molecular- statistische theorie der nematischen kristallinflüssigen phase // *Z. Naturforschg. Teil 1*. V. 14-a. JVs 10.1959. P. 882-889.

## **EFFECT OF PRESSURE ON THE ROTATIONAL VISCOSITY OF NEMATIC LIQUID CRYSTALS**

**D. Bogdanov, E. Gevorkyan, E. Bannikova,  
J. Obidenkov N. Barabanova, A. Larionov**

*Moscow State Regional University  
10a, Radio st., Moscow, 105005, Russia*

*Abstract.* Experimentally investigated the impact of the rotating magnetic field on the anisotropy of the absorption coefficient of ultrasound in nematic liquid crystals. A possible mechanism of the coefficient of rotational viscosity on the pressure and temperature.

*Keywords:* magnetic field, anisotropy, absorption coefficient of ultrasound, nematic liquid crystals.

УДК 532.783

## **ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЛАКСАЦИОННЫХ СВОЙСТВ НЕМАТИЧЕСКОГО ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА ЖК-1282 В ОКРЕСТНОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОСВЕТЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

**В.В. Сурнычев, В.В. Беляев, Е.М. Банникова**

*Московский государственный областной университет  
105005, Москва, ул. Радио, д. 10а*

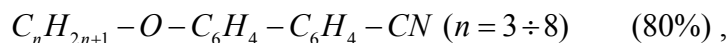
*Аннотация.* Представлены результаты экспериментальных исследований вязкоупругих свойств нематического жидкого кристалла (НЖК) ЖК-1282 методами акустической спектроскопии в диапазоне частот от 3 до 63 МГц и интервале температур от 290 до 360 К, температурные зависимости плотности и коэффициента сдвиговой вязкости. Рассчитаны значения термодинамических констант, времени релаксации и его критический показатель.

*Ключевые слова:* нематические жидкие кристаллы, коэффициент сдвиговой вязкости, время релаксации.

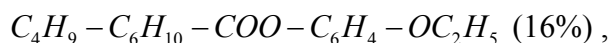
Результаты исследований температурно-частотных зависимостей акустических параметров в совокупности с данными по плотности, теплоемкости и вязкости, позволяют получить сведения о термодинамических и релаксационных свойствах исследуемого вещества. В свою очередь, результаты таких расчётов предоставляют информацию о структу-

ре, процессах теплового движения, характере и интенсивности молекулярного взаимодействия исследуемого объекта [1–4].

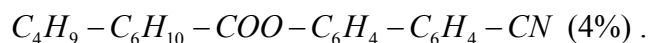
В качестве объекта исследования использован жидкий кристалл ЖК-1282 (НИО-ПИК, Россия) в состав которого входят: алкоксицианбифенилы:



эфир Демуса:



и эфир Грея:



Особенность ЖК-1282 состоит в том, то в его состав включены как сильно, так и слабополярные компоненты с различным типом межмолекулярного взаимодействия. Температурный интервал существования нематической мезофазы данного вещества очень широкий: от 253,1 К до 335,1 К (температура просветления  $T_C$ ) при атмосферном давлении. Результаты измерения приведены на рис. 1

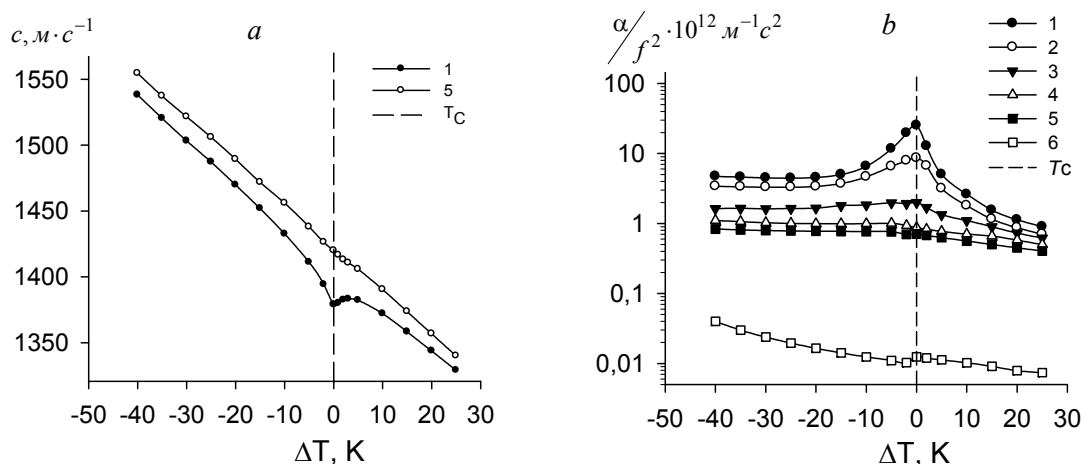


Рис. 1. Температурные зависимости скорости (а) и коэффициента поглощения (б) ультразвука для частот: 1 – 3 МГц, 2 – 9 МГц, 3 – 27 МГц, 4 – 45 МГц, 5 – 63 МГц;  
 $6 - (\alpha/f^2)_S$ ,  $T_C$  – температура просветления.

Экспериментальные результаты температурной (290...360 К) и частотной зависимости (3...63 МГц) скорости и коэффициента поглощения ультразвука, полученные импульсно-фазовым методом переменного расстояния

Проведённые исследования свидетельствуют о том, что для всего интервала существования нематической фазы имеет место зависимость акустических параметров от частоты, что свидетельствует о влиянии релаксационных процессов.

Частотные зависимости скорости и коэффициента поглощения ультразвука могут быть представлены выражениями вида [5]:

$$c^2 = c_0^2 + (c_\infty^2 - c_0^2) \frac{(f/f_C)^2}{1 + (f/f_C)^2}, \quad (1)$$

$$\frac{\alpha}{f^2} = \frac{A}{1 + f^2/f_\alpha^2} + B, \quad (2)$$

где  $c_\infty$  и  $c_0$  – высокочастотный и низкочастотный пределы скорости,  $f_C$  и  $f_\alpha$  – частоты релаксации процессов, вносящие вклад в дисперсию скорости и коэффициента поглощения ультразвука. При этом:

$$A = \frac{2\pi^2}{\rho c_0^3} \eta_V^{(0)},$$

$$\eta_V^{(0)} = (c_\infty^2 - c_0^2) \rho \tau_\alpha, \quad (3)$$

где  $\rho$  – плотность,  $\eta_V^{(0)}$  – низкочастотный предел объемной вязкости,  $\tau_\alpha = 1/(2\pi f_\alpha)$ .

Анализ частотных зависимостей скорости и коэффициента поглощения ультразвука позволяет рассчитать параметры, характеризующие релаксационный процесс в окрестности температуры просветления. Данные представленные в табл.1 показывают, что значения частот релаксации  $f_C$  и  $f_\alpha$ , определенные согласно выражениям (1) и (2), достаточно близки. Это свидетельствует о том, что дисперсии скорости и поглощение ультразвука обусловлены одним молекулярным механизмом.

Таблица 1

Релаксационные параметры ЖК–1282

| $\Delta T, K$ | $c_0, \text{м/с}$ | $c_\infty, \text{м/с}$ | $f_C, \text{МГц}$ | $A \times 10^{12}, \text{м}^{-1}\text{с}^2$ | $\frac{B}{c^2} \times 10^{12}, \text{м}^{-1}$ | $f_\alpha, \text{МГц}$ |
|---------------|-------------------|------------------------|-------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------|
| -40           | 1537              | 1555                   | 17                | 4,0                                         | 0,58                                          | 17                     |
| -10           | 1432              | 1457                   | 14                | 6,1                                         | 0,47                                          | 14                     |
| -5            | 1408              | 1438                   | 10                | 11,8                                        | 0,46                                          | 10                     |
| -2            | 1383              | 1426                   | 5,9               | 24,5                                        | 0,46                                          | 6,4                    |
| 2             | 1376              | 1413                   | 7,5               | 15,5                                        | 0,44                                          | 7,5                    |
| 5             | 1381              | 1406                   | 13                | 4,4                                         | 0,44                                          | 13                     |
| 10            | 1371              | 1392                   | 21                | 2,1                                         | 0,35                                          | 21                     |
| 20            | 1344              | 1364                   | 42                | 0,82                                        | 0,19                                          | 42                     |

Значения коэффициента сдвиговой вязкости  $\eta_S$ , плотности  $\rho$ , коэффициента объемной вязкости  $\eta_V^{(0)}$  рассчитанного по (3), и отношения  $\eta_V^{(0)}/\eta_S$  представлены в табл.2.

Из частотной зависимости скорости ультразвука можно рассчитать такие параметры как высокочастотный и низкочастотный пределы скорости  $c_\infty$  и  $c_0$ , величину абсолютной дисперсии скорости  $(c_\infty^2 - c_0^2)_C$ , так и дисперсии модуля упругости  $\Delta K_S^{(C)}$  и адиа-

батической сжимаемости  $\Delta \beta_S^{(C)}$ :

$$\Delta\beta_s^{(c)} = \frac{1}{\rho(c_\infty^2 - c_0^2)}$$

Анализ частотных зависимостей акустических свойств от параметров состояния показал, что релаксационные процессы в данном объекте обусловлены двумя механизмами. Первый, “критический”, связан с релаксацией и флуктуациями ориентационного параметра порядка. Второй, “нормальный”, связан со структурной релаксацией. Вдали от перехода из нематической фазы в изотропную основным является “нормальный” релаксационный механизм.

Таблица 2

Значения коэффициента сдвиговой вязкости  $\eta_s$ , плотности  $\rho$ , коэффициента объемной вязкости  $\eta_v^{(0)}$  рассчитанного по (3), и отношения  $\eta_v^{(0)}/\eta_s$

| $\Delta T, K$ | $\rho, \text{кг/м}^3$ | $\eta_s, \text{Па}\cdot\text{с}$ | $\eta_v^{(0)} \cdot 10^3, \text{Па}\cdot\text{с}$ | $\eta_v^{(0)}/\eta_s$ |
|---------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------|
| -40           | 1035                  | 5,60                             | 761                                               | 136                   |
| -15           | 1014                  | 1,64                             | 694                                               | 422                   |
| -10           | 1010                  | 1,37                             | 920                                               | 672                   |
| -5            | 1006                  | 1,15                             | 1693                                              | 1471                  |
| -2            | 1003                  | 1,04                             | 3396                                              | 3269                  |
| 2             | 998                   | 1,20                             | 2082                                              | 1734                  |
| 5             | 996                   | 1,12                             | 587                                               | 525                   |
| 10            | 992                   | 0,98                             | 272                                               | 278                   |
| 25            | 983                   | 0,65                             | 74                                                | 113                   |

Вблизи температуры просветления  $T_C$  “критический” механизм релаксации становится основным и проявляется в обеих фазах в небольшом интервале температур. Температурная зависимость эффективного времени низкочастотной релаксации вязкоупругих свойств определяется выражением:

$$\tau_K = \tau_K^0 \left( \frac{\Delta T}{T} \right)^{-\beta}, \quad (4)$$

где  $\beta$  – критический показатель степени,  $\tau^0$  – коэффициент, имеющий размерность времени.

Анализ температурной зависимости  $\tau_K$  и показал, что в окрестности температуры просветления этот параметр удовлетворительно описывается выражением (4). Значение  $\beta$  составляет: для нематической фазы 0,45; для изотропной 0,76.

Температурная зависимость дисперсии скорости ультразвука и плотности позволяют вычислить значения модуля упругости  $K_S$ , адиабатическая сжимаемость  $\beta_S$  и их дисперсию. Значения этих параметров приведены в табл. 3.

Таблица 3

Значения модулей упругости  $K_S \times 10^{-9}, \text{Н/м}^2$ ; адиабатической

сжимаемости  $\beta_s \times 10^{-10}$ , м<sup>2</sup>/Н; дисперсии модуля упругости  $\Delta K_s \times 10^{-7}$ , Н/м<sup>2</sup>; и адиабатической сжимаемости  $\Delta \beta_s \times 10^{10}$ , м<sup>2</sup>/Н.

| $\Delta T$ , К | $K_s^{(3)}$ | $K_s^{(63)}$ | $\beta_s^{(3)}$ | $\beta_s^{(63)}$ | $\Delta K_s$ | $\Delta \beta_s$ |
|----------------|-------------|--------------|-----------------|------------------|--------------|------------------|
| -40            | 2,45        | 2,49         | 4,08            | 4,01             | 7,02         | 1,46             |
| -15            | 2,14        | 2,19         | 4,68            | 4,56             | 7,04         | 1,43             |
| -10            | 2,07        | 2,14         | 4,82            | 4,68             | 7,62         | 1,32             |
| -5             | 2,00        | 2,08         | 4,99            | 4,81             | 9,67         | 1,05             |
| -2             | 1,95        | 2,04         | 5,13            | 4,90             | 12,90        | 0,78             |
| 2              | 1,91        | 1,99         | 5,24            | 5,03             | 10,06        | 1,00             |
| 5              | 1,90        | 1,96         | 5,25            | 5,09             | 5,94         | 1,75             |
| 10             | 1,87        | 1,92         | 5,35            | 5,22             | 4,68         | 2,27             |
| 25             | 1,74        | 1,76         | 5,76            | 5,67             | 3,63         | 3,21             |

Все вышеизложенное позволяет сделать вывод, что в окрестности температуры просветления процессы связанные с релаксацией как коэффициента вязкости, так и модулей упругости обусловлены одним и тем же механизмом – релаксацией гетерофазных флуктуаций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вервейко М. В., Вервейко В. Н. Объемная вязкость и акустическая релаксация нематических жидких кристаллов. // Ультразвук и термодинамические свойства вещества. Курск: 2002. С. 41–54.
2. Михайлов М. В., Соловьев В. А., Сырников Ю. С. Основы молекулярной акустики. – М.: Наука, 1964. 516 с.
3. Хабибулаев П. К., Геворкян Э. В., Лагунов А. С. Реология жидких кристаллов. – Ташкент: Изд-во ФАН АН Узбекистана, 1992. 295 с.
4. Капустин А. П., Капустина О. А. Акустика жидких кристаллов. – М.: Наука, 1986.
5. Физическая акустика / Под ред. Мэзона У. – т. 2А. – М.: Мир, 1968. 464 с.

#### ACOUSTIC STUDY OF RELAXATION PROPERTIES OF ZHK-1282 NEMATIC LIQUID CRYSTAL IN VICINITY OF NEMATIC-ISOTROPIC PHASE TRANSITION

V. Surnichov, V. Belyaev, E. Bannikova

Moscow State Regional University  
Radio st., 10a, 105005

**Abstract.** The viscous and elastic properties of a ZhK-1282 nematic liquid crystal (NLC) were studied in a temperature interval from 290 to 360 K by method of ultrasonic spectroscopy in the 3–63 MHz frequency range. The temperature dependences of the NLC density and shear viscosity are presented. The results of measurements of the velocity and ultrasound absorption and the shear viscosity were used to calculate the volume viscosity coefficient, the moduli of elasticity and isothermal compressibility, the relaxation times of both elastic and viscous properties, and the corresponding critical characteristics of the given NLC.

**Keywords:** nematic liquid crystal, shear viscosity coefficient, relaxation times.