

УДК 539.6:539.22

Е. Н. Васильчикова, Н. Н. Барабанова, Т. В. Козлова, Д. Л. Богданов, А. Л. Бугримов, А. К. Дадиванян

ОРИЕНТАЦИЯ МЕЗОГЕНОВ ОТНОСИТЕЛЬНО СФЕРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ РАЗДЕЛА ФАЗ

Московский государственный областной университет,
ул. Радио, д. 10-а, 105005 Москва, Россия. E-mail: dadivank@mail.ru

Разработан метод определения параметра порядка в поверхностных слоях мезогенов, основанный на анализе азимутального и радиального распределений интенсивности интерференционных полос, наблюдаемых в поляризованном свете. Слои ориентированы относительно сферических поверхностей раздела с другими фазами. Методом поляризационной микроскопии исследованы растворы мезогена N-4 в бензоле и капли жидкого кристалла ЖК-1282 на границе раздела. Наблюдения проводили в процессе фазового перехода изотропный раствор – кристалл. Определены значения параметра порядка для переходного состояния из изотропного раствора мезогена (бензол – N-4) в кристаллическую фазу и в каплях ЖК-1282.

Ключевые слова: жидкий кристалл, поляризационная микроскопия, ориентированный слой, двойное лучепреломление, параметр порядка.

DOI: 10.18083/LCAppl.2017.2.21

E. N. Vasilchikova, N. N. Barabanova, T. V. Kozlova, D. L. Bogdanov, A. L. Bugrimov, A. K. Dadivanyan

ORIENTATION OF MESOGENS AT THE SPHERICAL INTERFACE

Moscow State Region University,
10-a Radio St., Moscow, 105005, Russia. E-mail: dadivank@mail.ru

A method of determination of the order parameter in the surface layers of mesogens based on the analysis of azimuthal and radial distributions of the intensity of interference bands observed in polarized light is proposed. The layers are oriented at the spherical interfaces. Solutions of the mesogen N-4 in benzene and drops of nematic liquid crystal LC-1282 at the interface with polymeric balls were studied by polarizing microscopy. The experiment was performed during the isotropic solution – crystal phase transition. Values of the order parameter for the transition state between isotropic solution of mesogen (benzene – N-4) and its crystal phase as well as in the drops of LC-1282 were determined.

Key words: liquid crystal, polarizing microscopy, oriented layer, birefringence, order parameter.

В предыдущих работах нами был предложен метод определения параметра порядка S в неплоских поверхностных слоях, найдены его значения в стеклообразных полимерах и растворах мезогенов в области перехода изотропный раствор – жидкий кристалл (ЖК) [1–3].

В настоящей работе методом поляризационной микроскопии нами были исследованы капли жидких кристаллов (ЖК-1282) и растворы мезогена Н-4 в бензоле на границе раздела с полимерными шарами при фазовом переходе изотропный раствор – кристалл.

Отметим, что существенное изменение параметра порядка при переходе изотропное состояние – жидкий кристалл наблюдалось в расплавах низкомолекулярных мезогенов [4–6] и жидкокристаллических полимеров [7]. Ориентация молекул мезогенов на поверхности раздела рассматривалась в работах [8–10].

На рис. 1, *a*, *б* приведены микрофотографии сферических капель ЖК-1282 в поляризованном свете. На рис. 2, *a*, *б* представлены микрофотографии одной и той же капли ЖК-1282 в поляризованном и естественном свете.

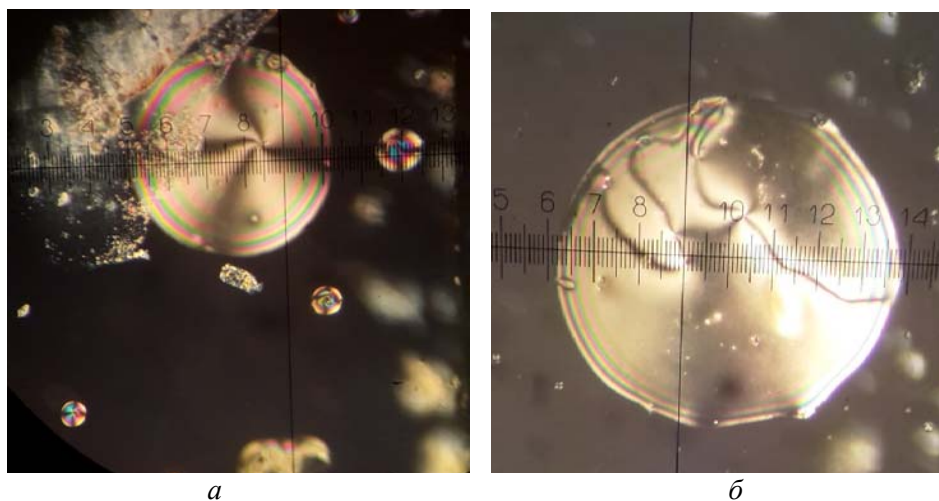


Рис. 1. Микрофотографии капель ЖК-1282 в поляризованном свете (цена деления 12,5 мкм)

Fig. 1. Microphotographs of LC-1282 drops in polarized light (scale factor 12.5 μm)

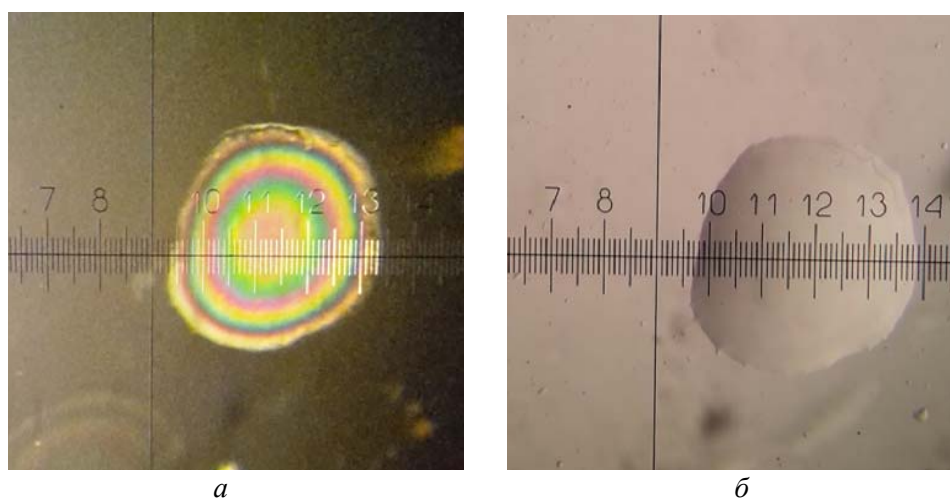


Рис. 2. Микрофотографии капель ЖК-1282 в поляризованном (*a*) и естественном (*б*) свете (цена деления 12,5 мкм)

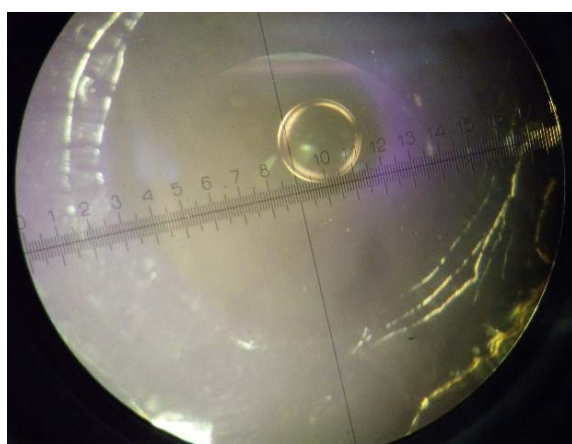
Fig. 2. Microphotographs of LC-1282 drops in polarized (a) and natural (b) light (scale factor 12.5 μm)

Отметим, что такие микрофотографии были получены и ранее [11], однако параметр порядка не был определен.

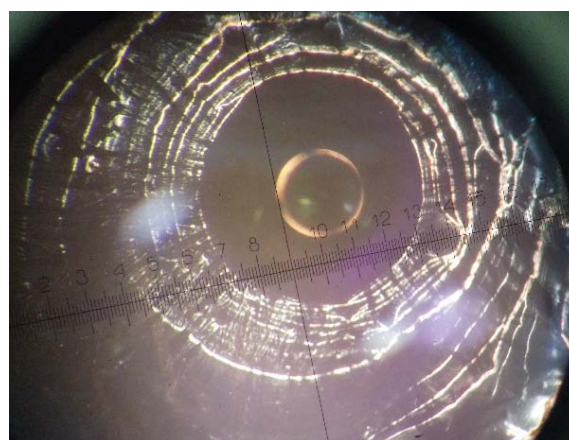
Как видно на фотографиях, в поляризованном свете наблюдаются кольцевые интерференционные полосы, характер которых определяется радиусом кривизны ориентирующей поверхности, в то время как в естественном свете такие картины не получаются (рис. 2, б). Это означает, что появление интерференционных колец связано с двойным лучепреломлением света.

Отметим, что на рис. 1, а интерференционные кольца пересекаются черными полосами, совпадающими с направлением плоскости поляризации света и перпендикулярным ему. На рис. 2, а такие черные полосы отсутствуют, что связано с наличием неоднородностей на поверхности капли, которые смазывают интерференционную картину [11].

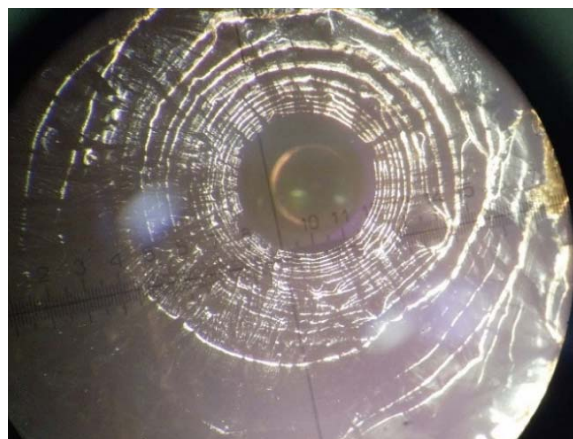
На рис. 3 приведены микрофотографии раствора Н-4 в бензоле на границе с полимерным шариком в различные моменты времени.



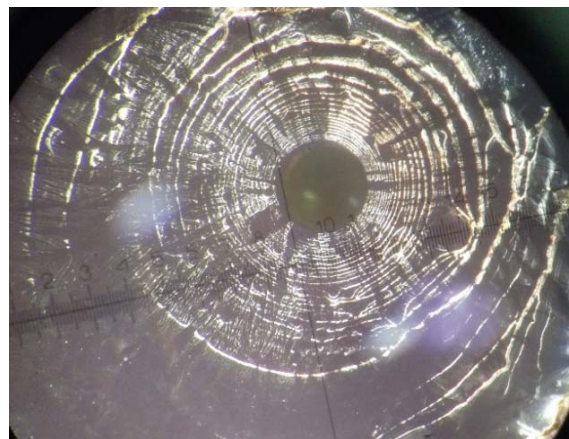
$t = 0$



$t_1 = 39 \text{ c}$



$t_2 = 61 \text{ c}$



$t_3 = 71 \text{ c}$

Рис. 3. Эволюция во времени интерференционной картины в системе бензол – жидкий кристалл Н-4. Отсчет времени (t) начинается с момента появления интерференционной картины

Fig. 3. Change in time of the interference picture in the benzene – LC- N4 system

Для разности фаз δ , возникающей при прохождении плоско поляризованного света через сферический слой, было получено соотношение [1, 2]:

$$\delta = \frac{8\pi^2 N}{\lambda n} \left(\frac{n^2 + 2}{3} \right) \cdot (a_1 - a_2) S \cdot \cos 2\chi \cdot r \cdot \arccos \frac{r}{R}, \quad (1)$$

где n – средний показатель преломления образца, N – число молекул мезогена в единице объема, $a_1 - a_2$ – разность поляризуемостей молекул мезогена, R – внешний радиус ориентированного

слоя, r – радиус светлого кольца, λ – длина волны света, S – параметр порядка, χ – азимутальный угол.

Как следует из рис. 3, светлые полосы вблизи внутренней границы ориентированного слоя расположены достаточно близко, поэтому точно определить номер интерференционной полосы, а, следовательно и параметр порядка, трудно. В связи с этим можно определить параметр порядка S по изменению разности фаз согласно соотношению:

$$\delta_{k+1} - \delta_k = \frac{8\pi^2 N}{\lambda n} \left(\frac{n^2 + 2}{3} \right)^2 \cdot (a_1 - a_2) \cdot S \cdot \left[r_{k+1} \arccos \frac{r_{k+1}}{R} - r_k \arccos \frac{r_k}{R} \right] \cdot \cos 2\chi = 2\pi \cdot \quad (2)$$

По соотношению (2) были получены значения параметра порядка, которые оказались равными $\langle S \rangle = 0,02$.

На рис. 4 представлено радиальное распределение интенсивности, построенное по соотношению:

$$\frac{I}{I_0} = \sin^2 \left(\frac{\delta}{2} \right) = \sin^2 \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{8\pi^2 N}{\lambda n} \left(\frac{n^2 + 2}{3} \right)^2 \left(\frac{R}{\lambda} \right) (a_1 - a_2) \cdot S \cdot \frac{r}{R} \cdot \arccos \frac{r}{R} \right]. \quad (3)$$

Для расчета использованы следующие численные значения параметров: $n = 1,8$; $N = 2,5 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$; $a_1 - a_2 = 2 \cdot 10^{-23} \text{ см}^3$; $S = 0,018$; $R = 2300 \text{ мкм}$; $\lambda = 0,55 \text{ мкм}$.

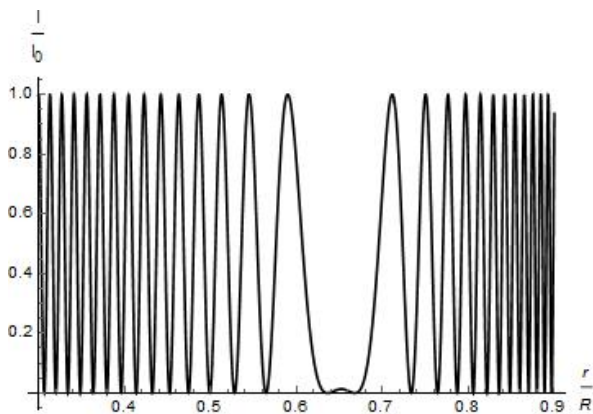


Рис. 4. Радиальное распределение интенсивности интерференционных полос

Fig. 4. Radial distribution of interference bands intensity

Рис. 3 позволяет определить параметр порядка не только по радиальному распределению интенсивности [1; 2], но и по азимутальному. Действительно, угловое расстояние между интерференционными максимумами (минимумами) можно определить из соотношения, которое получается из (1):

$$\Delta\delta = \delta_{m+1} - \delta_m = k\pi(m+1) - k\pi m = k\pi, \quad (4)$$

где k – номер максимума, считая от плоскости поляризации.

Параметр порядка можно определить, найдя дифференциал величины δ по соотношению (1):

$$\Delta\delta = \frac{16\pi^2 N}{\lambda n} \left(\frac{n^2 + 2}{3} \right)^2 \cdot (a_1 - a_2) \cdot S \cdot r \cdot \arccos \frac{r}{R} \cdot \sin 2\chi \Delta\chi = k\pi, \quad (5)$$

где $\Delta\chi$ – разность азимутов между двумя ближайшими интерференционными максимумами, расположенными на одном кольце радиуса r .

Для определения параметра S по соотношению (4) необходимо точно определить внешний радиус интерференционной картины R , что иногда затруднительно из-за размытости картины. Величину R можно определить по рис. 4, на котором наблюдается максимум расстояния между полосами при $r/R = 0,65$. Отметим, что этот максимум, как следует из работы [1], наблюдается при этом же значении r/R независимо от значений R/λ и S . Это означает, что мы можем точно определить R и k при любых значениях R/λ , а следовательно, и параметр порядка S .

Как следует из рис. 4, расстояния между интерференционными полосами различаются. Сравнение с экспериментальными данными, приведенными на рис. 3, позволяет определить порядок интерференционной полосы.

Используя величину k , полученную из сравнения рис. 3 и 4, можно определить величину $\Delta\chi$ (угловое расстояние между соседними максимумами) и параметр порядка S .

Значение S оказалось равным 0.04, что менее чем на порядок отличается от значения, определенного по радиальному распределению (2). Это расхождение может быть обусловлено недостаточно точным определением углового расстояния $\Delta\chi$ по микрофотографиям.

На рис. 5 представлено азимутальное распределение относительной интенсивности при изменении азимутального угла.

На рис. 6 приведено пространственное (радиальное и азимутальное) смоделированное распределение относительной интенсивности интерференционных полос для различных значений величины R/λ .

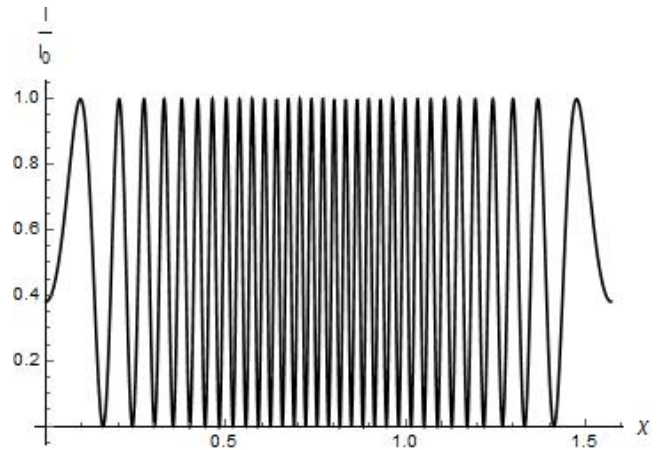


Рис. 5. Азимутальное распределение интенсивности интерференционных полос

Fig. 5. Azimuthal distribution of interference bands intensity

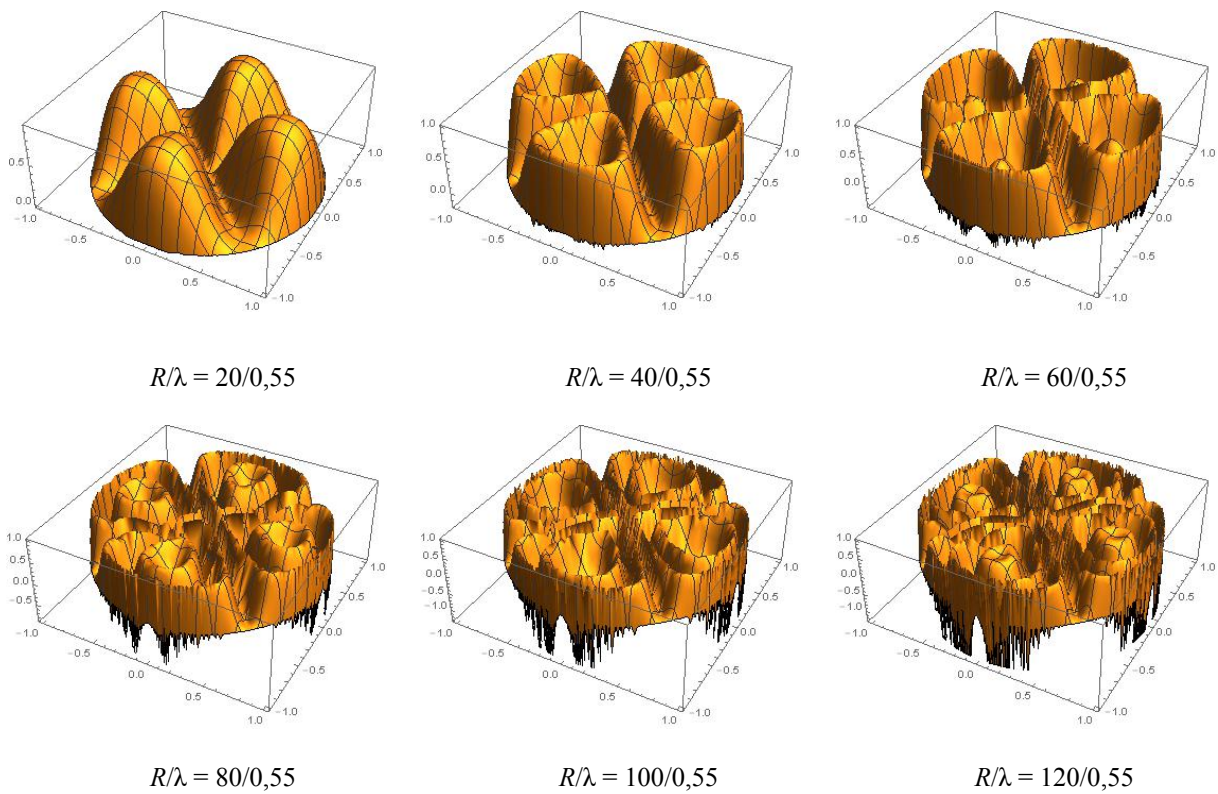


Рис. 6. Модели пространственного распределения относительной интенсивности интерференционных полос для различных значений величины R/λ

Fig. 6. Three-dimensional models of relative interference bands intensity for various ratios R/λ

Данные модели отражают зависимость характера интерференционной картины от радиуса ориентированного слоя (рис. 1, а). Аналогичная картина (увеличение числа интерференционных максимумов) по радиусу и по азимуту отмечается и при наблюдении динамики образования ориентированного слоя (рис. 3).

Выводы

1. Разработан метод определения параметра порядка в поверхностных слоях, ориентированных относительно сферических поверхностей раздела с другими фазами по азимутальному и радиальному распределениям интенсивности интерференционных полос, возникающих в поляризованном свете. Полученные расчетные формулы могут быть использованы и для цилиндрических поверхностей.
2. Определены значения параметра порядка для переходного состояния изотропный раствор – жидкий кристалл (бензол – Н-4) и в каплях ЖК-1282.
3. Показано, что величины параметра порядка, определенные по радиальному и азимутальному распределениям интенсивностей, близки.
4. Построены модели пространственного распределения интенсивности интерференционных полос, отражающие зависимость от размеров слоя R и динамику роста ориентированного слоя относительно сферической поверхности раздела.

Список литературы / References

1. Васильчикова Е. Н., Барабанова Н. Н., Козеева М. И., Богданов Д. Л., Беляев В. В., Дадиванян А. К. Ориентационный порядок в поверхностных слоях мезогенов при переходе изотропная фаза – нематический жидкий кристалл // *Жидк. крист. и их практич. использ.* 2015. Т. 15, № 2. С. 55–62. [Vasilchikova E.N., Barabanova N.N., Kozeeva M.I., Bogdanov D.L., Belyaev V.V., Dadivanyan A.K. Orientational order in surface layers of mesogens at isotropic phase – nematic liquid crystal transition. *Zhidk. krist. ikh prakt. ispol'z. = Liq. Cryst. and their Appl.*, 2015, **15** (2), 55–62 (in Russ.)].
2. Vasilchikova E.N., Barabanova N.N., Bogdanov D.L., Belyaev V.V., Bugrimov A.L., Dadivanyan A.K. Mesogens' orientation at cylindrical and spherical surfaces during transition from isotropic phase to nematic liquid crystal phase. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 2017, **646**, 1–8.
3. Саркисян В. А., Асратян М. Г., Мхитарян А. А., Катрдзьян К. Х., Дадиванян А. К. Ориентация макромолекул на поверхности раздела полимера с наполнителями // *Высокомолекуляр. соед. Сер. А*. 1985. Т. 27, № 6. С. 1331–1335 [Sarkisyan V.A., Asratyan M.G., Mkhitarayan A.A., Katrdzhyan K.Kh., Dadivanyan A.K. Orientation of macromolecules at the interface of polymer and fillers. *Polymer Science U.S.S.R.*, 1985, **27** (6), 1494–1498. DOI: 10.1016/0032-3950(85)90299-0].
4. Цветков В. Н., Рюмцев Е. И. Флуктуации ориентационного порядка в аморфной фазе ЖК-веществ и их электрооптические свойства // *ДАН СССР*. 1967. Т. 176. С. 382–384. [Tsvetkov V.N., Ryumtsev E.I. Fluctuations orientation order in the amorphous phase LC-matter and their electro-optical properties. *Reports of the Academy of Sciences of the USSR*, 1967, **176**, 382–384 (in Russ.)].
5. Цветков В. Н., Рюмцев Е. И. Предпереходные явления и электрооптические свойства жидких кристаллов // *Кристаллография*. 1968. Т. 13, вып. 2. С. 290–294. [Tsvetkov V.N., Ryumtsev E.I. Pretransition phenomena and electrooptical properties of liquid crystals. *Crystallography*, 1968, **13** (2), 290–294 (in Russ.)].
6. Рюмцев Е. И., Цветков В. Н. Электрооптические свойства аморфной фазы некоторых жидких кристаллов // *Оптика и спектроскопия*. 1969. Т. XXVI, вып. 4. С. 607–612. [Ryumtsev E.I., Tsvetkov V.N. Electrooptical properties of amorphous phase of some liquid crystals. *Optics and spectroscopy*, 1969, **XXVI** (4), 607–612 (in Russ.)].
7. Барматов Е. Б., Строганов Л. Б., Дадиванян А. К., Шибаев В. П. Особенности фазового поведения ориентированных сетчатых жидкокристаллических полимеров // *Высокомолекуляр. соед. А*. 1997. Т. 39, № 9. С. 1476–1484. [Barmatov Ye.B., Stroganov L.B., Dadivanyan A.K., Shibaev V.P. Peculiarities of phase behavior of network liquid-crystalline polymers. *Polymer Science. A*, 1997, **39** (9), 1476–1484 (in Russ.)].
8. Дадиванян А. К., Чаусов Д. Н., Ноа О. В., Беляев В. В., Чигринов В. Г., Пашинина Ю. М. Влияние параметра порядка на энергию сцепления жидких кристаллов // *ЖЭТФ*. 2012. Т. 142, вып. 12. С. 1253–1257 [Dadivanyan A.K., Chausov D.N., Belyaev V.V., Pashinina Yu.M., Noa O.V., Chigrinov V.G. Influence of the Order Parameter on the Anchoring Energy of Liquid Crystals. *Journal of Experimental and Theoretical Physics*, 2012, **115** (6), 1100–1104. DOI: 10.1134/S1063776112110027].
9. Соломатин А. С., Беляев В. В. Ориентационные и

- оптические свойства сферических доменов жидкого кристалла с центральной ориентирующей и внешней неориентирующей поверхностью // *Вест. Моск. гос. обл. ун-та. Сер.: Физика-математика*. 2016. № 4. С. 32–42. [Solomatin A., Belyaev V. Orientational and optical properties of liquid-crystal domains bounded by central orienting and surrounding non-orienting surfaces. *Bulletin of Moscow Region State University. Series: Physics and Mathematics*, 2016, 4, 32–42 (in Russ.). DOI: 10.18384/2310-7251-2016-4-32-42].
10. Беляев В. В., Соломатин А. С. Ориентационные и оптические свойства слоев жидкого кристалла с одной ориентирующей и одной неориентирующей поверхностью // *Жидк. крист. и их практич. использ.* 2014. Т. 14, № 2. С. 4–20 [Belyaev V.V., Solomatin A.S. Orientational and optical properties of liquid crystalline layers with orienting and non-orienting surfaces. *Zhidk. krist. ikh prakt. ispol'z. = Liq. Cryst. and their Appl.*, 2014, 14 (2), 4–20 (in Russ.)].
11. Де Жен П. Физика жидких кристаллов. М. : Мир, 1977. 400 с. [de Gennes P.G. *The Physics of Liquid Crystals*. Clarendon Press, Oxford, 1974, 400 p.].

Поступила в редакцию 10.05.2017 г.
Received 10 May 2017