

УДК 541.122.:661.185.1

*Е. А. Кирсанов, В. Н. Матвеев\**, Ю. Н. Тимошин, В. В. Таунгавер

**ПОТЕНЦИАЛ СЦЕПЛЕНИЯ НЕМАТИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ  
НА ПОДЛОЖКЕ С ГОМЕОТРОПНОЙ ОРИЕНТАЦИЕЙ**

**ANCHORING POTENTIAL OF NEMATIC LIQUID  
ON THE SUBSTRATE UNDER HOMEOTROPIC ORIENTATION**

Коломенский государственный педагогический институт  
Коломна, Московская область

\*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова  
119899 Москва, Воробьевы горы

*Обсуждаются физико-химическая интерпретация граничных эффектов (роль упругой деформации и межфазной химической энергии) и механизмы объемной упорядоченности в гомеотропных жидких кристаллах.*

*The physicochemical interpretation of boundary effects (role of elastic distortion and of interfacial chemical energy) and bulk ordering mechanisms in homeotropic liquid crystals are discussed.*

**Ключевые слова:** жидкие кристаллы, потенциал сцепления, гомеотропная ориентация, граничные эффекты, упругая деформация.

**Keywords:** liquid crystals, anchoring potential, homeotropic orientation, boundary effects, elastic distortion.

**Введение**

Причины гомеотропной ориентации нематических молекул на подложке до сих пор недостаточно ясны. Уже отмечалось [1], что простое правило Крейга-Кметца не подтверждается для большого числа нематиков на подложках, покрытых различными ПАВ. Известно [2], что при низкой поверхностной плотности адсорбированных молекул гексадециламмоний бромида реализуется планарная ориентация метоксибензильденбутиланилина (МББА), а при высокой – гомеотропная, что явно связано с параллельной или перпендикулярной ориентацией молекул ПАВ относительно плоскости подложки. Было сделано предположение о стерической природе гомеотропной и наклонной ориентации в случае лецитиновых монослоев на подложке [3]. Коньяр [4] упоминал об ориентации дифильных полярных нематических молекул относительно поверхности раздела за счет взаимодействия с полярными группами на подложке.

Растворенные в нематической жидкости молекулы ПАВ адсорбируются на полярной поверхности, ориентируясь вертикально своими алкильными цепями; молекулы нематического кристалла принимают такую же гомеотропную ориентацию [5]. Этот эффект связан как с изменением межфазной поверхностной энергии  $\gamma_{LS}$ , так и со стерическим взаимодействием молекул с цепями ПАВ.

Метод ЖК–хроматографии [6, 7] позволил определить связь ориентации с наличием амфифильных примесей. Оказалось, что гомеотропная ориентация МББА и ряда цианобифенилов (*n*ЦБ) целиком определяется адсорбцией амфифильных молекул примесей на подложке, то есть имеет стерическую природу.

Устойчивость ориентации нематика на подложке зависит от потенциала сцепления. Он описывает, в общем виде, зависимость поверхностной энергии от угла ориентации директора на подложке. Обычно потенциал сцепления задают в виде:

$$U = \frac{1}{2} W \sin^2(\Psi - \Psi_{\Gamma}) \quad (1)$$

где  $\Psi$  – угол отклонения нематического директора от нормали подложки,  $\Psi_{\Gamma}$  – угол лёгкого ориентирования. Величина  $W$  названа коэффициентом силы сцепления или энергией сцепления, она имеет смысл энергии, необходимой для поворота молекул на некоторый угол относительно оси лёгкого ориентирования.

Существует обширный материал по определению энергии сцепления нематиков с подложкой [8]. Однако интерпретация экспериментальных данных либо отсутствует, либо сводится к поиску эмпирической зависимости  $W$  от нематического параметра порядка  $Q$  [9]. Недавно [10] была предпринята попытка описать температурную зависимость  $W(T)$  в рамках среднеполевой модели для потенциала взаимодействия, взятого в виде ряда сферических гармоник. При этом игнорируются как поверхностное натяжение нематической жидкости, так и поверхностная энергия подложки.

Ранее [11] мы показали, что для гладкой подложки с планарной ориентацией ЖК-молекул энергия сцепления  $W$  может быть получена с помощью коллоидно-химических характеристик поверхности нематической жидкости и твердой подложки.

На подложке, покрытой ПАВ, в случае гомеотропной ориентации, величина энергии сцепления  $W$  определяется как энергией взаимодействующих сред, так и стерическим взаимодействием удлинённых нематических молекул с цепями ПАВ.

Целью данной работы является проверка модели, основанной на коллоидно-химических представлениях о природе ориентации нематиков.

### 1. Энергетические характеристики границы раздела

Межфазную энергию гомеотропного нематического кристалла на подложке можно описать тем же способом, что для планарной ориентации [11]:

$$\gamma_{LS}(\Psi) = \gamma_S + \gamma_L(\Psi) - 2D\sqrt{\gamma_L(\Psi)} \quad (2)$$

где

$$D = \sqrt{\zeta \gamma_S^d} + \sqrt{(1-\zeta) \gamma_S^P}, \quad \zeta = \frac{\gamma_L^d}{\gamma_L},$$

$$\gamma_S = \gamma_S^d + \gamma_S^P.$$

Величина поверхностного натяжения  $\gamma_L(\Psi)$  для нематического метоксибензилиденбутиланилина (МББА) рассчитана нами ранее [12].

Предположим, что молекулы МББА ориентированы вблизи подложки таким же образом, как у свободной поверхности. То есть, менее полярная часть молекулы направлена в сторону подложки, покрытой слоем ПАВ с длинными алкильными цепями.

Уравнение для поверхностного натяжения МББА имеет вид:

$$\begin{aligned} \gamma_l(\Psi) = & \frac{3}{2} A_2^{(2)} \sin^2 \Psi - \frac{1}{2} A_2^{(2)} + \frac{35}{8} A_4^{(2)} \sin^4 \Psi - \frac{30}{8} A_4^{(2)} \sin^4 \Psi \\ & + \gamma_d + B_1^{(3)} \cos \Psi + \frac{1}{2} B_3^{(3)} [5 \cos^3 \Psi - 3 \cos \Psi] \end{aligned} \quad (3)$$

где коэффициенты определены [12] для различных температур существования мезофазы.

Предположим, что длинные цепи ПАВ, перпендикулярные подложке, ориентируют удлиненные молекулы МББА также перпендикулярно подложке. Запишем энергию стерического взаимодействия в виде

$$\gamma_n(\Psi) = \frac{1}{2} W_n \sin^2 \Psi \quad (4)$$

Эта энергия равна нулю при перпендикулярной ориентации молекул и увеличивается, когда молекула (и цепи ПАВ) наклоняются к подложке.

Полная поверхностная энергия равна

$$\gamma(\Psi) = \gamma_{LS}(\Psi) + \gamma_n(\Psi) \quad (5)$$

Вариация энергии имеет вид

$$\delta \gamma(\Psi) \cong \left( \frac{\partial \gamma}{\partial \Psi} \right)_\Gamma (\Psi - \Psi_\Gamma) + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial^2 \gamma}{\partial \Psi^2} \right)_\Gamma (\Psi - \Psi_\Gamma)^2$$

В равновесном гомеотропном состоянии, где  $\Psi_\Gamma = 0$ ,

$$\left( \frac{\partial \gamma}{\partial \Psi} \right)_\Gamma = 0, \quad \text{получим}$$

$$\delta \gamma (\Psi ) \cong \frac{1}{2} \left( \frac{\partial^2 \gamma}{\partial \Psi^2} \right)_0 \Psi^2 \quad (6)$$

Феноменологическое выражение для потенциала сцепления при малых углах отклонения принимает вид

$$U(\Psi ) = \frac{1}{2} W \Psi^2 \quad (7)$$

Сравнивая (6) и (7) получим с учетом (5):  $W = W_L + W_n$ ,

где  $W_L = \left( \frac{\partial^2 \gamma_{LS}(\Psi)}{\partial \Psi^2} \right)_0$ ,

$$W_n = \left( \frac{\partial^2 \gamma_n(\Psi)}{\partial \Psi^2} \right)_0$$

Рассчитаем величину  $W_L$ , связанную с межфазной энергией  $\gamma_{LS}(\Psi)$ :

$$\frac{\partial^2 \gamma_{LS}(\Psi)}{\partial \Psi^2} = \frac{\partial^2 \gamma_L(\Psi)}{\partial \Psi^2} \left[ 1 - \frac{D}{\sqrt{\gamma_L(\Psi)}} \right] + \frac{\partial \gamma_L(\Psi)}{\partial \Psi} \cdot \frac{\partial}{\partial \Psi} \left[ 1 - \frac{D}{\sqrt{\gamma_L(\Psi)}} \right];$$

$$\frac{\partial \gamma_L(\Psi)}{\partial \Psi} = \frac{3}{2} A_2^{(2)} \sin 2\Psi + \frac{35}{4} A_4^{(2)} \sin^2 \Psi \cdot \sin 2\Psi - \frac{30}{8} A_4^{(2)} \sin 2\Psi - B_1^{(3)} \sin \Psi +$$

$$\frac{1}{2} B_3^{(3)} [-15 \cos^2 \Psi \sin \Psi + 3 \sin \Psi]$$
(8)

В случае гомеотропной ориентации, для  $\Psi = 0$ , получим

$$W_L = \left. \frac{\partial^2 \gamma_{LS}(\Psi)}{\partial \Psi^2} \right|_0 = \left. \frac{\partial^2 \gamma_L(\Psi)}{\partial \Psi^2} \right|_0 \cdot \left\{ 1 - \frac{D}{\sqrt{\gamma_L(0)}} \right\}$$
(9)

$$W_L = \left[ 3A_2^{(2)} - \frac{30}{4} A_4^{(2)} - 6B_3^{(3)} - B_1^{(3)} \right] \cdot \left\{ 1 - \frac{\text{или } D}{\sqrt{\gamma_L(0)}} \right\}$$
(10)

Полная энергия сцепления принимает вид

$$W = W_n + W_L = W_n + \left[ 3A_2^{(2)} - \frac{30}{4} A_4^{(2)} - 6B_3^{(3)} - B_1^{(3)} \right] \cdot \left\{ 1 - \frac{D}{\sqrt{\gamma_L(0)}} \right\}$$
(11)

где

$$\gamma_L(0) = -\frac{1}{2} A_2^{(2)} + \frac{3}{8} A_4^{(2)} + \gamma_d + B_1^{(3)} + B_3^{(3)}$$

## 2. Сравнение теоретической модели с экспериментальными данными

В работе Наемуры [13] были определены составляющие поверхностной энергии твердых подложек, обработанных сурфактантом



Величины  $\gamma_s^d$  и  $\gamma_s^p$  были получены путем измерения краевых углов капель серии жидкостей с известными величинами  $\gamma_L^d$  и  $\gamma_L^p$ . Энергия сцепления  $W$  для МББА была определена с помощью перехода Фредерикса в магнитном поле. В случае гомеотропной ориентации магнитное поле прикладывается параллельно подложке, создавая ориентационную деформацию, которая измеряется либо оптическим методом, либо по величине электрической емкости между подложками.

В случае нежесткого сцепления порог эффекта Фредерикса уменьшается в соответствии с формулой

$$H_C = H_{CO} \frac{lW}{\pi K_{33}} \operatorname{ctg} \frac{\pi H_C}{2H_{CO}}, \quad \text{где}$$

$$H_{CO} = \left(\frac{\pi}{l}\right) \left(\frac{k_{33}}{\chi_\alpha}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Здесь  $H_{CO}$  – пороговое поле эффекта в случае жесткого сцепления,  $l$  – толщина ячейки,  $K_{33}$  – постоянная продольного изгиба (в теории упругости Франка),  $\chi_\alpha$  – анизотропия магнитной восприимчивости нематического кристалла.

Поскольку углы отклонения  $\Psi$  малы вблизи порога эффекта Фредерикса, то экспериментальная величина  $W$  должна описываться формулой (11). Компоненты поверхностной энергии подложки  $\gamma_s^d$  и  $\gamma_s^p$  и полученная из эксперимента величина  $W$  [13] представлены в табл. 1. Коэффициенты  $A$ ,  $B$ ,  $\gamma_d$  при комнатной температуре (294 К) имеют следующие значения [12] в единицах мДж/м<sup>2</sup>:

$$A_2^{(2)} = -31,506; \quad A_4^{(2)} = 2,656; \quad \gamma_d = 68,38;$$

$$B_1^{(3)} = -35,61; \quad B_3^{(3)} = -13,01.$$

Величина  $\zeta$  для МББА выбрана равной 0,99.

Рассчитанные нами значения энергии сцепления  $W_L$  показаны в табл. 1.

Отрицательные значения  $W_L$  указывают на тенденцию к планарной ориентации за счет физико-химического (энергетического) взаимодействия нематической жидкости с подложкой. Величина  $W_n$  определяется как  $W_n = W - W_L$ .

Величина  $W_n$  приведена в табл. 1 и показана на графике (рис. 1) как функция числа атомов углерода ( $n$ ) в алкильной цепи.

Таблица 1

**Дисперсионная  $\gamma^d$ , и полярная  $\gamma^p$ , составляющие поверхностной энергии подложки покрытой слоев ПАВ [ $nS(C_nH_{n+1})$ ], экспериментальная энергия сцепления  $W$  и рассчитанные значения  $W_L$  и  $W_n$  (в мДж/м<sup>2</sup>) для гомеотропного МББА**

Сурфактант	$\gamma_s^d$	$\gamma_s^p$	$W_s, *10^{-2}$	$W_L, *10^{-2}$	$W_n, *10^{-2}$
10S(C <sub>10</sub> H <sub>21</sub> )	34,9(+2,4)	2,5(+0,6)	1,6(+0,2)	-0,081	1,60
12S(C <sub>12</sub> H <sub>25</sub> )	34,6(+0,6)	4,2(+0,2)	2,1(+0,9)	+0,194	1,91
14S(C <sub>14</sub> H <sub>29</sub> )	34,2(+1,1)	1,9(+0,2)	3,2(+0,8)	-1,096	4,29
16S(C <sub>16</sub> H <sub>33</sub> )	34,6(+1,9)	2,2(+0,5)	3,6(+0,7)	-0,529	4,13
18S(C <sub>18</sub> H <sub>37</sub> )	32,9(+2,2)	1,1(+0,4)	1,2(+0,7)	-2,94	4,14

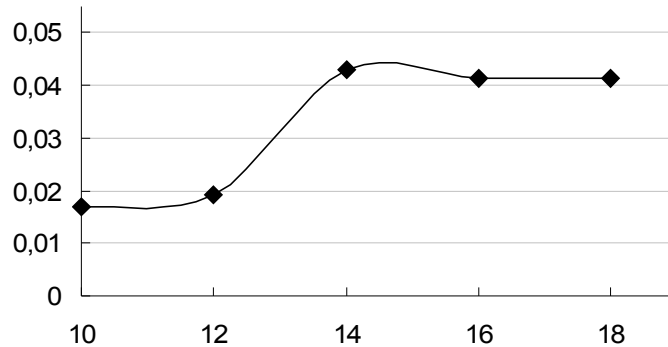


Рис. 1. Зависимость энергии стерического взаимодействия молекул МББА с подложкой, покрытой слоем ПАВ, от длины алкильной цепи молекулы ПАВ

Нужно отметить, что увеличение длины алкильной цепи приводит к небольшому увеличению энергии сцепления  $W_n$  стерического происхождения. Кажется разумным, что более длинные цепи лучше ориентируют нематические молекулы и создают большие возвращающие силы при отклонении директора от перпендикулярной ориентации.

Таким образом, мы оценили величину энергии сцепления и проверили предположение о возможной стерической природе гомеотропной ориентации МББА. Результаты не могут быть достаточно точными из-за больших погрешностей в определении параметров  $\gamma_s^d$  и  $\gamma_s^p$  (как показано в табл. 1).

В работе Розенблата [9] определена температурная зависимость энергии сцепления  $W$ , полученная в результате определения порога Фредерикса в гомеотропном образце МББА.

$$\text{Уравнение } \operatorname{ctg} \frac{\pi H_C}{2H_{CO}} = \frac{\pi K_{33} H_C}{lWH_{CO}} \text{ раскладывалось в ряд по степеням}$$

$$\left(1 - \frac{H_C}{H_{CO}}\right).$$



Приближенное выражение  $\frac{H_C}{H_{CO}} \approx 1 - \frac{2K_{33}}{lW}$  использовалось для определения

энергии сцепления  $W$  в тонких образцах ( $l = 2,47$  мкм). В табл. 2 приведены значения  $W$  в зависимости от температуры  $T$  для слоя нематического МББА между подложками, покрытыми слоем ПАВ (додецилтриметиламмоний хлорид).

Температурные зависимости коэффициентов  $A$ ,  $B$ ,  $\gamma_d$  были рассчитаны нами ранее [12]. Величина нематического параметра порядка  $Q$  определялась соотношением

$$Q = \left(1 - \frac{T}{T^+}\right)^\chi, \quad \text{где для МББА} \quad \chi = 0,19; \quad T^+ = T_C + 1,2; \quad T_C =$$

316,2 К

Необходимые значения коэффициентов поверхностного натяжения  $\gamma_L(0)$  и параметра порядка  $Q$  приведены в табл. 2.

Поскольку точное значение параметра подложки  $D$  неизвестно, то предположим, что значения  $\zeta$ ,  $\gamma_s^d$  и  $\gamma_s^p$  не изменяются в заданном интервале температур.

Упругая энергия задана в виде  $\gamma_n = \frac{1}{2} Wn \Psi^2$ , причем величина  $Wn$ , по-видимому, должна зависеть от температуры в результате теплового движения алкильных цепей.

В первом приближении, допускаем, однако, что энергия сцепления стерической природы  $Wn$  не зависит от температуры. Отсюда, появляется возможность рассчитать неизвестные значения  $Wn$  и  $D$  методом наименьших квадратов. Рассчитанные значения энергии сцепления  $W_{\text{расч}}$  показаны в табл. 2. Получена величина стерической энергии сцепления  $Wn = 1,78 \cdot 10^{-2}$  мДж/м<sup>2</sup>, что вполне сравнимо со значениями  $Wn$ , рассчитанными по данным Наемуры. Параметр подложки  $D = 6,3$  (мДж/м<sup>2</sup>), откуда, при  $\zeta = 1$ ,  $\gamma_s^p = 0$ , получим  $\gamma_s = 39,7$  мДж/м<sup>2</sup>. Это значение поверхностной энергии подложки имеет разумную величину. Температурная зависимость энергии сцепления  $W(T)$  показана на рис. 2. Отклонение теоретической кривой от экспериментальных точек вызвано, скорее всего, неучтенной температурной зависимостью  $Wn$ .

Таблица 2

Экспериментальная и расчётная величины энергии сцепления, коэффициенты уравнения для поверхностного натяжения МББА и нематический параметр порядка в зависимости от температуры (энергия имеет размерность мДж / м<sup>2</sup>)

T, K	W	Q	A <sub>2</sub> <sup>(2)</sup>	A <sub>4</sub> <sup>(2)</sup>	B <sub>1</sub> <sup>(3)</sup>	B <sub>3</sub> <sup>(3)</sup>	γ <sub>d</sub>	γ <sub>L</sub> (0)	W <sub>расч</sub>
298,5	0,0655	0,585	-30,100	2,488	-34,289	-12,324	66,167	35,537	0,0588
300	0,0649	0,576	-29,574	2,422	-33,788	-12,070	65,394	35,231	0,0594

301	0,061	0,570	-29,203	2,377	-33,434	-11,892	64,866	35,033	0,0595
302	0,0588	0,563	-28,815	2,329	-33,062	-11,706	64,328	34,842	0,0593
304	0,0577	0,548	-27,977	2,227	-32,251	-11,306	63,213	34,480	0,0579
305	0,0527	0,540	-27,520	2,173	-31,808	-11,089	62,634	34,312	0,0567
306	0,0494	0,532	-27,035	2,115	-31,333	-10,860	62,036	34,155	0,0552
307,5	0,0477	0,517	-26,241	2,023	-30,551	-10,487	61,102	33,943	0,0521
308,5	0,0427	0,507	-25,659	1,955	-29,973	-10,215	60,447	33,822	0,0495
310,5	0,0405	0,483	-24,322	1,804	-28,633	-9,596	59,037	33,646	0,0429
311,5	0,0394	0,469	-23,538	1,718	-27,837	-9,237	58,265	33,604	0,0387
312	0,036	0,461	-23,106	1,671	-27,396	-9,040	57,856	33,600	0,0365
313	0,0344	0,444	-22,140	1,568	-26,401	-8,603	56,980	33,634	0,0315
313,5	0,0316	0,434	-21,591	1,510	-25,831	-8,357	56,505	33,679	0,0287
314	0,0269	0,422	-20,984	1,447	-25,197	-8,086	55,998	33,750	0,0259
315	0,0228	0,395	-19,525	1,300	-23,653	-7,442	54,848	34,003	0,0197
315,5	0,0167	0,378	-18,607	1,211	-22,668	-7,042	54,171	34,218	0,0164

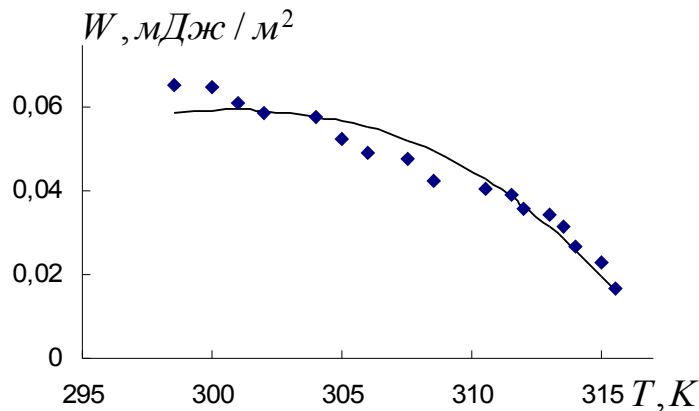


Рис. 2. Температурная зависимость энергии сцепления нематического МББА на гомеотропно ориентирующей подложке

Нужно отметить, что Барберо и Звездин [10] интерпретировали данные Розенблата [9], используя поверхностную межфазную энергию, которая представлена в виде ряда четных полиномов Лежандра для углов  $\Psi$  отклонения директора от нормали. Энергия сцепления в этом случае задана уравнением

$$W = \left( \frac{\partial^2 \gamma_{LS}(\Psi)}{\partial \Psi^2} \right)_0 = \alpha \langle P_2 \rangle + \beta \langle P_4 \rangle$$

Где  $\alpha$  и  $\beta$  – некоторые постоянные связанные с коэффициентами ряда полиномов Лежандра. Значения  $\langle P_2 \rangle$  и  $\langle P_4 \rangle$  описывают нематическую ориентационную упорядоченность:

$$\langle P_2 \rangle = \langle P_2(\cos\theta) \rangle = Q$$

$$\langle P_4 \rangle = \langle P_4(\cos\theta) \rangle .$$

где символ  $\langle \rangle$  означает статистическое усреднение по всем углам ориентации  $\theta$  ансамбля молекул относительно нематического директора. Хорошее сходство теоретической кривой с экспериментом получено [10] при использовании независимо измеренных параметров  $Q$  и  $\langle P_4 \rangle$ , определены значения  $\alpha = 3,54 \cdot 10^{-2}$ ,  $\beta = 25,10 \cdot 10^{-2}$  мДж/м<sup>2</sup>. В модели Барберо и Звездина используется потенциалы взаимодействия молекулы с другой нематической молекулой и с подложкой, но рассчитанные значения  $\alpha$  и  $\beta$  не поддаются независимой проверке. Стерический фактор также игнорируется.

### Заключение

В электро- и магнитооптических экспериментах параметр  $W$  обычно определяется как эмпирическая величина, входящая в некий феноменологический потенциал сцепления нематика с подложкой. В уравнение, определяющее  $W$ , входят различные физические характеристики нематического кристалла, обычно полученные в независимых экспериментах.

Таким образом, точность определения  $W$  зависит от точности измерения этих характеристик.

Довольно удачная попытка рассчитать величину  $W$  производилась [10] в рамках молекулярно-статистической теории с помощью достаточно сложного потенциала взаимодействия молекулы с другой нематической молекулой и с подложкой.

Мы описали здесь коллоидно-химический подход к расчету энергии сцепления  $W$ , учитывающий дополнительное стерическое взаимодействие нематических молекул с цепями ПАВ. Для использования этого метода необходимо знать функциональную зависимость поверхностного натяжения  $\gamma_L$  от угла наклона  $\Psi$ , поверхностную энергию твердой подложки  $\gamma_S$  и величину нематического параметра порядка  $Q$ .

### Список литературы

1. Uchida T., Ishikava K., Wada M. // Mol. Cryst. Liq. Cryst. 1980. Vol. 60. P. 37.
2. Proust J., Terminassian-Saraga L., Guyon E. // Sol. Stat. Comm. 1972. Vol. 11. P. 1227.
3. Hiltrop K., Stegemeyer H. // Mol. Cryst. Liq. Cryst. Lett. 1978. Vol. 49. P. 61.
4. Cognard J. // J. Adhesion. 1984. Vol. 17. № 2. P. 123.
5. Конъяр Ж. Ориентация нематических жидких кристаллов и их смесей: Пер. с англ. / Под ред. Г. Л. Некрасова. Минск: Изд-во Белорус. ун-та, 1986. 104 с.

6. *Ohgawara M., Uchida T., Wada M.* // *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 1981. Vol. 74. № 1/4. P. 227.
7. *Uchida T., Ohgawara M., Shibata Y.* // *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 1983. Vol. 98. P. 149.
8. *Марусий Т. Я., Резников Ю. А., Решетняк В. Ю., Хижняк А. И.* // Препринт № 8. АН УССР. Ин-т физики, Киев, 1988.
9. *Rosenblatt Ch.* // *J. Phys. (Fr)*. 1985. Т. 45. № 6. P. 1087.
10. *Barbero G., Zvezdin A.* // *Phys. Rev. E*. 2000. Vol. 62. № 5. P. 6711.
11. *Курсанов Е. А., Матвеевко В. Н., Тимошин Ю. Н., Асонова Т. С., Таунгавер В. В.* // *Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2007. Вып. 4. С. 52.*
12. *Курсанов Е. А., Матвеевко В. Н., Тимошин Ю. Н.* // *Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2005. Вып. 3/4. С. 28.*
13. *Naemura Sh.* // *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 1981. Vol. 68. P. 183.

*Поступила в редакцию 16.10.2008 г.*