

УДК 547.571+532.783

*И. В. Новиков, В. В. Александрыйский, Л. О. Монахов, В. А. Бурмистров\**

**ВЛИЯНИЕ (2R,3R)-(-)2,3-БУТАНДИОЛА НА МЕЗОМОРФНЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ 4-АЛКИЛОКСИ-4'-  
ЦИАНОБИФЕНИЛОВ**

Ивановский государственный химико-технологический университет,  
НИИ химии макрогетероциклических соединений,  
пр. Шереметевский, 7, 153000 Иваново, Россия. \*E-mail: burmistrov@isuct.ru

*Исследованы мезоморфные и оптические свойства растворов оптически активного (2R,3R)-(-)2,3-бутандиола и его рацемической смеси в жидкокристаллической композиции алкоксицианобифенилов (CB-6). Методом поляризационной микроскопии показано образование хиральной нематической фазы при добавлении (2R,3R)-(-)2,3-бутандиола. На основании температур просветления смесей проведена оценка дестабилизирующего воздействия допантов на термостабильность мезофазы. Измерен шаг спирали индуцированной хиральной мезофазы. Рефрактометрическим методом измерены показатели преломления и двулучепреломление жидкокристаллических смесей. Установлено снижение двулучепреломления при увеличении концентрации допантов.*

**Ключевые слова:** жидкие кристаллы, хиральность, допанты, двулучепреломление, параметр порядка, водородная связь, диполь-дипольная ассоциация.

**DOI:** 10.18083/LCAppl.2018.2.86

*I. V. Novikov, V. V. Aleksandriiskii, L. O. Monakhov, V. A. Burmistrov\**

**INFLUENCE OF (2R,3R)-(-)2,3-BUTANEDIOL ON MESOMORPHIC AND OPTICAL  
PROPERTIES OF LIQUID CRYSTALLINE MIXTURES ON THE BASE  
OF 4-ALKYLOXY-4'-CYANOBIPHENYLS**

Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Research Institute of Macroheterocyclic Compounds,  
7 Sheremetevsky Ave., Ivanovo, 153000, Russia. \*E-mail: burmistrov@isuct.ru

*Mesomorphic and optical properties of the (2R,3R)-(-)2,3-butanediol solutions in liquid-crystalline mixtures on the base of 4-alkyloxy-4'-cyanobiphenyls (CB-6) were studied. The formation of a chiral nematic phase with the addition of (2R, 3R)-(-)2,3-butanediol was shown by polarization microscopy. The dopants destabilizing effect on the mesophase thermal stability was evaluated based on the mixtures clearance temperature. The pitch of the induced chiral mesophase is measured. The refractive indices and birefringence of liquid-crystal mixtures were measured by refractometric method. The birefringence was shown to decrease at the increase in dopants concentration.*

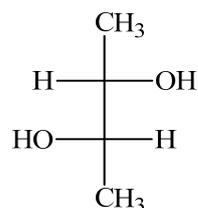
**Key words:** liquid crystals, chirality, dopants, birefringence, order parameters, dielectric properties, hydrogen bond, dipole-dipole association.

## Введение

Одним из путей создания новых мезоморфных материалов является целенаправленное легирование жидких кристаллов специальными добавками [1]. При этом эксплуатационные характеристики многокомпонентных композиций в значительной степени определяются характером межмолекулярных взаимодействий компонентов [2], среди которых особенно необходимо отметить специфические взаимодействия (диполь-дипольные, образование водородных связей и др.) [2, 3–5]. Легирующие добавки в зависимости от анизотропии формы, полярности, наличия в структуре химически активных функциональных групп оказывают различное влияние на свойства мезоморфных композиций [6–10]. Между тем закономерности такого влияния до настоящего времени изучены недостаточно, что сдерживает создание высокоэффективных жидкокристаллических материалов.

Особый интерес представляют ЖК-смеси с оптически активными хиральными добавками, позволяющие закручивать нематическую фазу и изменять электрооптические свойства жидкокристаллической матрицы. При этом такие смеси сохраняют все достоинства нематиков – низкую вязкость, широкий температурный интервал существования мезофазы, химическую стабильность [11, 12]. Хиральные добавки могут оказывать заметное влияние на термостабильность индуцированных хиральных нематических мезофаз [13, 14] и в то же время небольшое количество немезоморфного оптически активного вещества может перевести нематик в холестерик [11, 12]. Учитывая, что зачастую жидкокристаллические композиции, применяемые в электрооптических устройствах, создаются на основе полярных компонентов (замещенные цианобифенилы, цианофенилциклогексаны и др.) [15], представляет несомненный интерес допирование таких жидких кристаллов хиральными добавками, склонными к H-связыванию.

В представляемой работе приведены результаты исследования влияния оптически активного (2R,3R)-(-)-2,3-бутандиола ((R-)**BD**)



и рацемической смеси 2,3-бутандиола ((±)**BD**) на мезоморфные и оптические свойства жидкокристаллической смеси на основе 4-(*n*) алкилокси-4'-цианобифенилов (**CB-6**).

## Эксперимент

Жидкокристаллическую композицию **CB-6** готовили путем смешивания 4-(*n*)алкилокси-4'-цианобифенилов с числом атомов углерода C3–C8, квалификации «ч.д.а.». Массовая доля каждого компонента составляла 16,67 %. Температура плавления –10 °С, температура просветления 72 °С.

В качестве немезоморфной оптически активной добавки использовали (2R,3R)-(-)-2,3-бутандиол ((R-)**BD**) (*Aldrich*) с удельным оптическим вращением = –13,2° и показателем преломления  $n_{20} = 1,433$  и рацемат 2,3-бутандиола ((±)**BD**) (*Aldrich*).

Температуры фазовых переходов измеряли с помощью поляризационной термомикроскопии с точностью ± 0,2 °С. Шаг спирали хиральной нематической фазы был непосредственно измерен по оптическим микроскопическим текстуррам [16].

Показатели преломления  $n_o = n_{\perp}$  (*ordinare*) в мезоморфном состоянии и изотропножидкой фазе ( $n_{is}$ ) измеряли с помощью термостатируемого рефрактометра *Аббе* на длине волны 589 нм с точностью ±0,0005. Для ориентации образца поверхность призм рефрактометра предварительно натерли. Индекс рефракции  $n_e = n_{\parallel}$  (*extraordinare*) рассчитывали из соотношения для среднего значения:  $n^2 = 1/3 \cdot (n_e^2 + 2n_o^2)$ , определяемого путем экстраполяции  $n_{is}$  в область нематической фазы с учетом температурной зависимости плотности ЖК. Двулучепреломление жидкокристаллического материала определялось по формуле:  $\Delta n = n_e - n_o = n_{\parallel} - n_{\perp}$ .

### Результаты и их обсуждение

Жидкокристаллическая шестикомпонентная смесь **CB-6**, представляющая собой смесь 4-(*n*)-алкилокси-4'-цианобифенилов ( $n = C3-C8$ ), обладает нематической фазой в довольно большом температурном интервале и является аналогом материалов, применяемых на практике в устройствах отображения информации [15]. На рис. 1 представлены текстуры исходной смеси **CB-6**, характерные для нематической мезофазы [17].

Анализ текстур, представленных на рис. 2 и 3, показывает, что допирование жидкокристаллической матрицы оптически активным (*R*-)**BD** и рацемической смесью ( $\pm$ )**BD** не только оказывает воздействие на надмолекулярную структуру **CB-6**, о чем свидетельствует изменение текстуры мезофазы (рис. 2, *a*, *b*), но также в случае с (*R*-)**BD** приводит к закручиванию мезофазы и возникновению хиральной нематики с полигональной текстурой типа «отпечатков пальцев» (рис. 2, *c*).

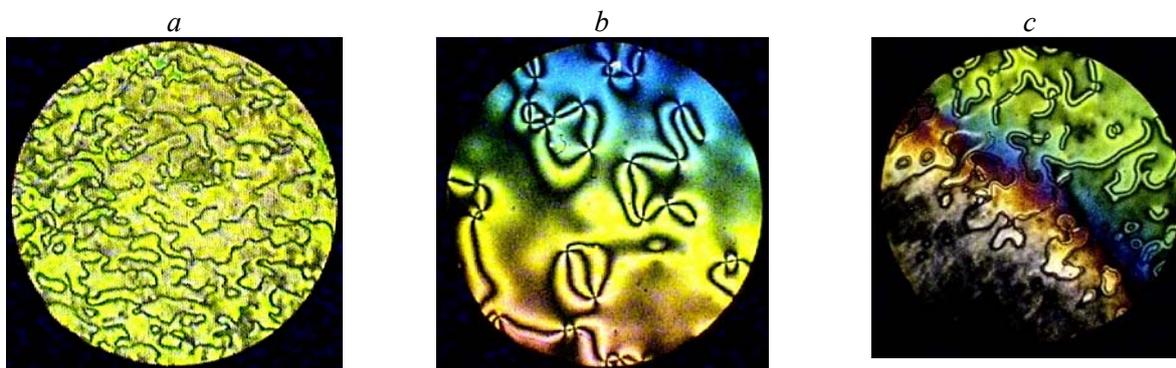


Рис. 1. Текстуры жидкокристаллической смеси **CB-6**:  
*a* – нитевидная текстура с поверхностными дисклиинациями при 25 °С, *b* – Шлирен-текстура при 70 °С,  
*c* – фазовый переход из нематической фазы в изотропную жидкость

Fig. 1. Textures of liquid crystalline mixture **CB-6**:  
*a* – thread-like texture with surface disclinations at 25 °C, *b* – Schlieren texture at 70 °C,  
*c* – the nematic – isotropic liquid phase transition

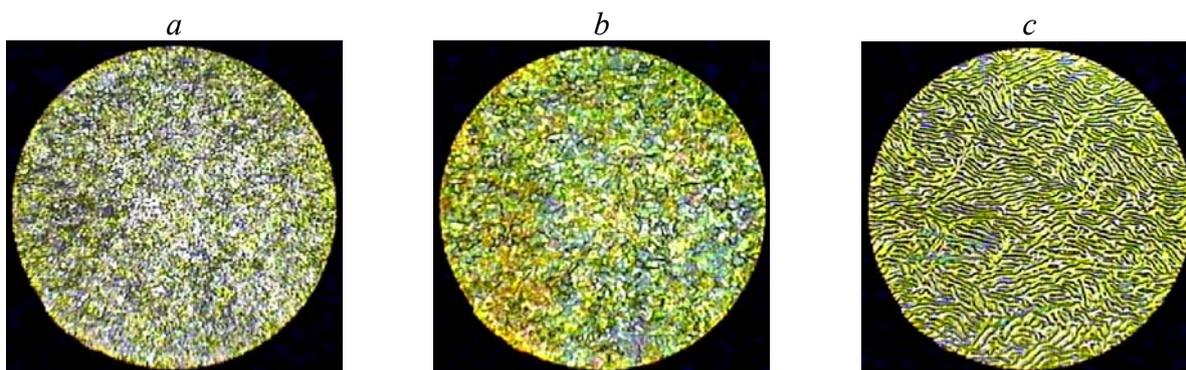


Рис. 2. Текстуры мезофазы:  
*a* – смесь **CB-6** + ( $\pm$ )**BD** с концентрацией допанта 6,14 % при 30 °С,  
*b* – смесь **CB-6** + (*R*-)**BD** с концентрацией допанта 4,97 % при 30 °С, *c* – смесь **CB-6** + (*R*-)**BD**  
с концентрацией допанта 10,03 % при 45 °С

Fig. 2. Textures of the mesophase:  
*a* – **CB-6** + ( $\pm$ )**BD** with a dopant concentration of 6,14 % at 30 °C, *b* – mixture of **CB-6** + (*R*-)**BD** with the dopant  
concentration 4,97 % at 30 °C, *c* – mixture of **CB-6** + (*R*-) **BD** with the dopant concentration 10,03 % at 45 °C

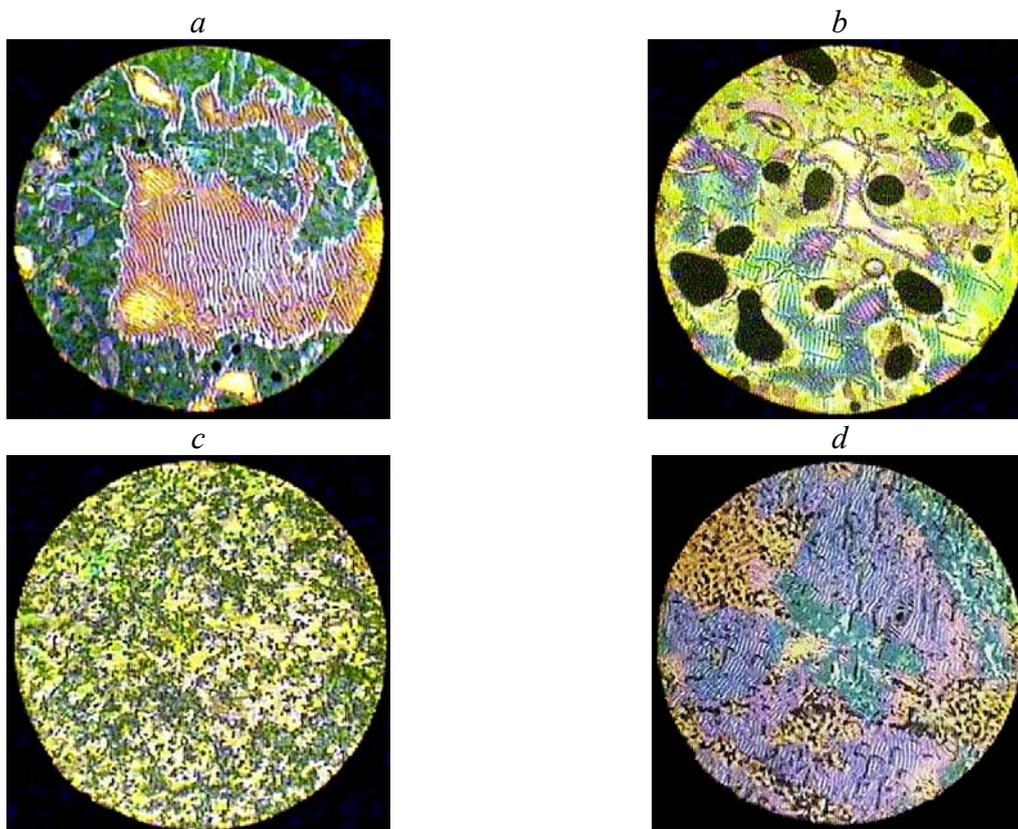


Рис. 3. Текстуры смеси **CB-6** + 8,8 % (R-)BD:

*a* – нематическая фаза с локальными участками хиральной нематики при  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  
*b* – фазовый переход N – I при  $T = 63\text{ }^{\circ}\text{C}$ , *c* – мезофаза, образованная из изотропа при охлаждении образца  $T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , *d* – образование текстуры «отпечатков пальцев» после механического воздействия

Fig. 3. Textures of mixture **CB-6** + 8.8 % (R-)BD:

*a* – nematic phase with local sections of chiral nematic at  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , *b*– the N – I phase transition at  $T = 63\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  
*c* – mesophase formed from the isotropic liquid at cooling at  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , *d* – formation of the fingerprints texture after mechanical impact

При малых концентрациях оптически активного допанта (R-)BD картины «отпечатков пальцев» в мезофазе не наблюдается. Это может быть связано как с незначительным оптическим вращением хирального диола ( $-13,2^{\circ}$ ), так и с не эффективной передачей хиральности от оптически активного допанта к ЖК-матрице.

При концентрации (R-)BD выше 7 вес. % в мезофазе начинает проявляться текстура, характерная для хиральной нематической фазы с большим шагом спирали, которая наблюдается во всем температурном интервале мезофазы (рис. 3, *a, b*). Данная текстура проявляется как локально, так и по всей поверхности препарата и зависит от концентрации допанта, толщины слоя ЖК-смеси,

температуры, предварительной подготовки стеклянной подложки.

Следует отметить также, что при охлаждении смесей из изотропной фазы для всех концентраций допанта образование текстуры «отпечатков пальцев» не наблюдается (рис. 3, *c*). Между тем в результате механического воздействия на препарат (рис. 3, *d*), при котором происходит изменение толщины слоя ЖК, вновь происходит образование данной текстуры (рис. 3, *d*).

Способность закручивать мезофазу характеризуется величиной энергии закручивания ( $\beta$ ) в соответствии с уравнением [18]:

$$\beta = (p \cdot c \cdot r)^{-1}, \quad (1)$$

(где  $p$  – шаг спирали,  $c$  – мольная доля добавки,  $r$  – энантиомерная чистота добавки), которая определяется механизмом переноса хиральности от допанта к жидкокристаллической матрице и зависит от множества факторов [19] – молекулярной структуры допанта и жидкого кристалла и их взаимного структурного соответствия, которое, в свою очередь, зависит от природы физических взаимодействий закручивающая добавка – ЖК. Так, в работах [16, 20] было показано, что высокую энергию скручивания обеспечивают планарные взаимодействия ароматических ядер взаимно соответствующих фрагментов хиральной добавки и нематического растворителя.

Образование текстуры «отпечатков пальцев» для растворов, содержащих больше 7 вес. % допанта, позволило измерить шаг хиральной нематической фазы. Шаг спирали был измерен непосредственно из текстуры при  $T - T_{NI} = -10$  °C и при различных концентрациях допанта. Зависимость величины обратной шагу спирали от мольной доли добавки ( $X_2$ ) приведен на рис. 4.

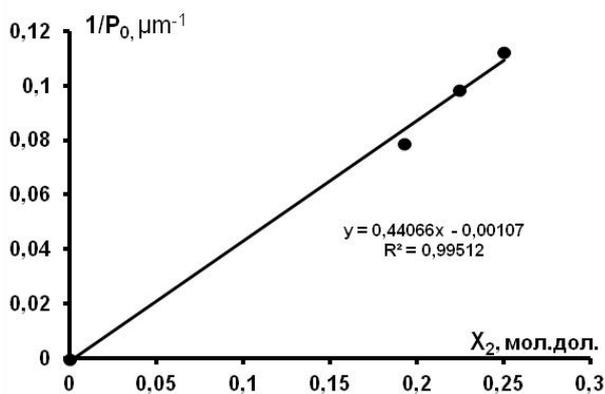


Рис. 4. Зависимость  $1/P$  от мольной доли (2R,3R)-(-)-2,3-бутандиола в смесях с **CB-6** при  $T - T_{NI} = -10$  °C

Fig. 4. Dependence of  $1/P$  on mole fraction of (R)-**BD** in mixtures with **CB-6** at  $T - T_{NI} = -10$  °C

При этом наблюдается характерная прямолинейная зависимость  $1/P - X_2$  (мольная доля допанта) [20], что позволило рассчитать величину энергии скручивания, составившую  $\beta = 0,440 \mu\text{m}^{-1}$ .

Введение немезоморфных добавок, как правило, приводит к снижению температур просветления мезоморфных матриц [2–6]. В связи с этим одной из наиболее важных исходной характеристик таких материалов является степень дестаби-

лизации мезофазы, которую можно оценить по наклону концентрационной зависимости температур просветления [2], которые были измерены методом поляризационной термомикроскопии.

На рисунке 5 представлены зависимости приведенных температур просветления  $T^* = (T/T_{NI})$ , (где  $T$  – температура окончания фазового перехода хиральный нематик – изотропная жидкость,  $T_{NI}$  – температура просветления **CB-6**) ЖК-композиций на основе **CB-6** от мольной доли допанта (R-)**BD** и рацемической смеси ( $\pm$ )**BD**.

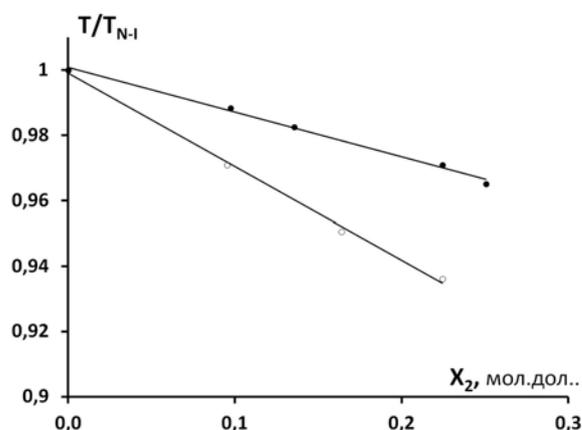


Рис. 5. Зависимость  $T/T_{NI}$  от мольной доли (R-)**BD** (●) и ( $\pm$ )**BD** (○) в **CB-6**

Fig. 5. Dependence of  $T/T_{NI}$  on mole fraction of (R)-**BD** (●) or ( $\pm$ )**BD** (○) in **CB-6**.  $T_{NI}$  is the clearance temperature of **CB-6**

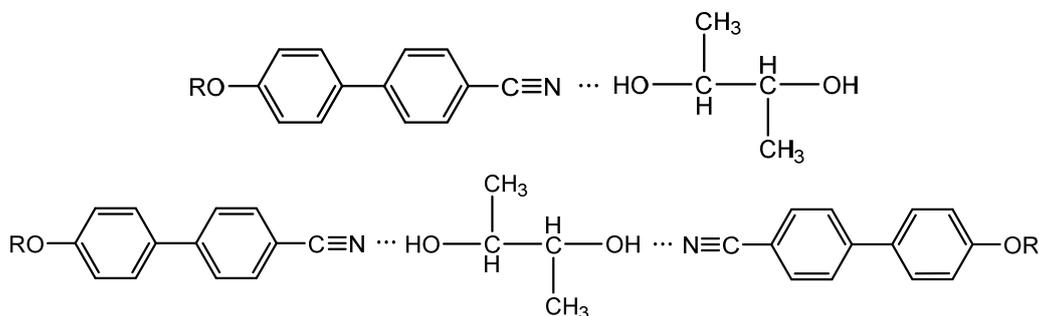
Анализ данных рис. 5 и наклонов прямых, рассчитанных по этим данным, указывают на дестабилизирующее воздействие оптического изомера и рацемата на мезофазу ЖК-6. При этом рацемическая смесь ( $\pm$ )**BD** разрушает мезофазу в несколько большей степени ( $dT^*/dx_2 = -0,287$ ), что может быть вызвано усилением разрушающего действия допанта ( $\pm$ )**BD**, представляющего собой смесь изомеров.

При этом влияние оптически активного (R-)**BD** на мезофазу достаточно слабое ( $dT/dn_2 = -0,137$  мол. доли<sup>-1</sup>) по сравнению с другими немезоморфными добавками [2–5, 13], что свидетельствует о достаточно эффективном встраивании немезогена в структуру **CB-6**.

На наш взгляд, это может быть связано с влиянием специфических межмолекулярных взаимодействий за счет водородных связей [2].

Учитывая наличие двух протондонорных групп в структуре 2,3-бутандиола, можно предпо-

ложить образование следующих межмолекулярных комплексов с Н-связью:



Такого рода супермолекулы обладают достаточно высокой молекулярной анизотропией и могут эффективно встраиваться в структуру мезоморфной матрицы, заметно не воздействуя вследствие этого на ее термостабильность. В то же время можно ожидать определенного влияния на ряд эксплуатационных характеристик, таких как, например, оптическая анизотропия. Данные по оптической анизотропии (двулучепреломлению) мезогенов  $\Delta n$  представляют значительный интерес, поскольку являются основой электрооптических эффектов [15, 21]. Нематические жидкие кристаллы, будучи одноосными, имеют два показателя преломления –  $n_{\parallel}$  и  $n_{\perp}$ , связанные с деформационной (электронной) поляризуемостью молекулы соответственно вдоль и перпендикулярно ее длинной оси, а  $\Delta n$  – с

анизотропией поляризуемости. Выше было показано, что введение немезоморфных добавок (R)-BD и ( $\pm$ )BD в ЖК-смесь оказывает влияние на природу мезофазы и ее термостабильность. В связи с этим представляет интерес исследование оптической анизотропии данных жидкокристаллических систем.

Нами были получены температурные зависимости индексов рефракции на длине волны 589 нм ( $n_{\parallel, \perp}$ ) и двулучепреломления ( $\Delta n$ ) растворов (R)-BD и ( $\pm$ )BD в СВ-6, представленные на рис. 6–9. Для двулучепреломления использована шкала приведенных температур ( $T_{\text{прив.}} = T - T_{\text{NI}}$ ). На рис. 10 представлены концентрационные зависимости  $\Delta n$  при разных приведенных температурах.

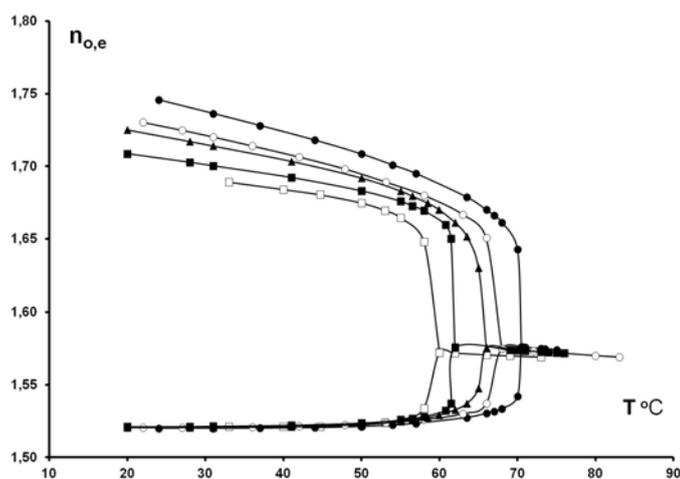


Рис. 6. Зависимости показателей преломления смесей СВ-6 – (R)-BD от температуры: ● – ЖК-6, ○ – 3,48 % (R)-BD, ▲ – 4,97 %, ■ – 8,8 %, □ – 10,03 %

Fig. 6. Dependences of dielectric permittivity components for СВ-6 – (R)-BD mixtures on temperature: ● – СВ-6, ○ – 3,48 % of (R)-BD, ▲ – 4,97 %, ■ – 8,8 %, □ – 10,03 %

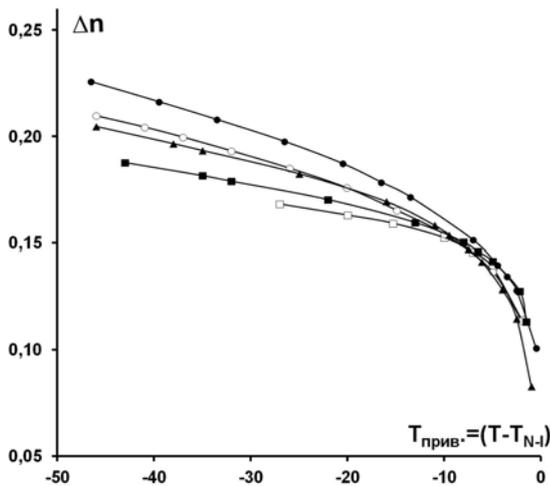


Рис. 7. Зависимости двулучепреломления смесей **CB-6 – (R-)BD** от приведенной температуры: ● – **CB-6**, ○ – 3,48 % (R-)BD, ▲ – 4,97 %, ■ – 8,8 %, □ – 10,03 %

Fig. 7. Dependences of birefringence  $\Delta n$  for **CB-6 – (R-)BD** mixtures on the reduced temperature at dopant concentration: ● – **CB-6**, ○ – 3,48 % of (R-)BD, ▲ – 4,97 %, ■ – 8,8 %, □ – 10,03 %

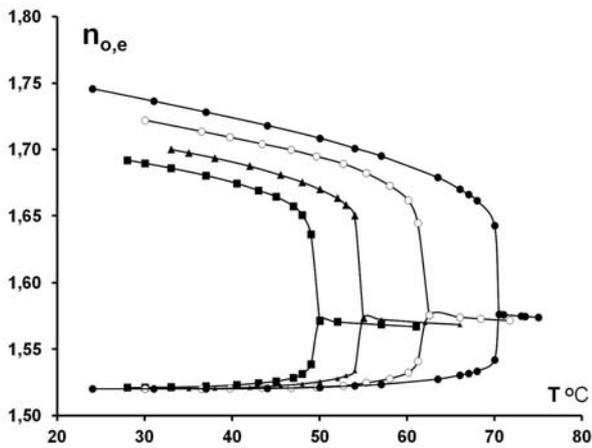


Рис. 8. Зависимости показателей преломления  $n_{o,e}$  смесей **CB-6 – (±)BD** от температуры: ● – **CB-6**, ○ – 3,40 % (±)BD, ▲ – 6,14 % (±)BD, ■ – 8,82 % (±)BD

Fig. 8. Dependences of dielectric permittivity components for **CB-6** with (±)BD mixtures on temperature: ● – **CB-6**, ○ – 3,40 % of (±)BD, ▲ – 6,14 % of (±)BD, ■ – 8,82 % of (±)BD

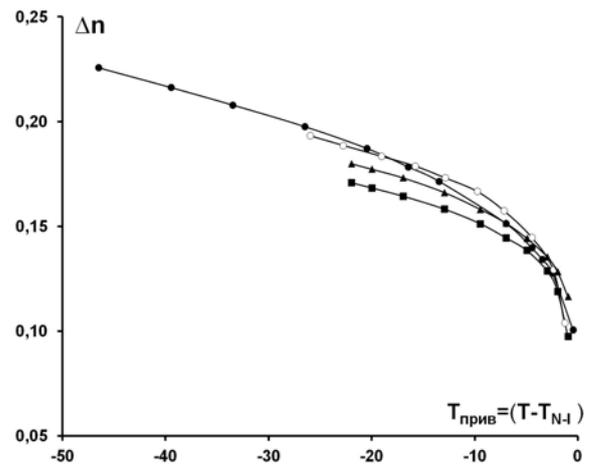


Рис. 9. Зависимости двулучепреломления смесей **CB-6 – (±)BD** от приведенной температуры: ● – **CB-6**, ○ – 3,40 % (R-)BD, ▲ – 6,14 %, ■ – 8,82 %

Fig. 9. Dependences of birefringence  $\Delta n$  for **CB-6 – (±)BD** mixtures on the reduced temperature at dopant concentration: ● – **CB-6**, ○ – 3,40 % of (R-)BD, ▲ – 6,14 %, ■ – 8,82 %

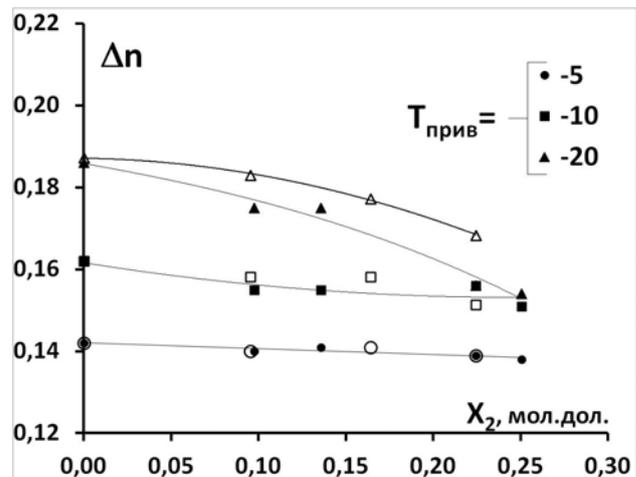


Рис. 10. Зависимости двулучепреломления смесей **CB-6 – (R-)BD** (●, ■, ▲) и **CB-6 – (±)BD** (○, □, Δ) от концентрации добавки при трех приведенных температурах

Fig. 10. Dependences of birefringence  $\Delta n$  for **CB-6 – (R-)BD** (●, ■, ▲) and **CB-6 – (±)BD** (○, □, Δ) mixtures on the dopant concentration at three reduced temperatures

Анализ данных показывает, что добавление допантов практически не изменяет индексы рефракции  $n_o(n_{\perp})$  в мезофазе. Между тем рассчитанные индексы рефракции  $n_e(n_{\parallel})$  обнаруживают уменьшение с увеличением концентрации оптически активного (R)-BD, что в результате сопровождается снижением оптической анизотропии  $\Delta n$  во всем диапазоне мезофазы (рис. 10). При этом воздействие допанта возрастает по мере удаления от температуры просветления. Исследование влияния рацемической смеси ( $\pm$ )BD на оптические свойства CB-6 показало, что показатели преломления и соответствующие зависимости  $n_o(\pm) = f(T)$  и  $\Delta n = f(T_{пр})$  довольно близки к зависимостям системы CB-6 – (R)-BD. Совпадение оптических свойств рацемических и оптически активных форм ЖК подтверждают сделанные ранее выводы [4], что ориентационный порядок в нематике и хиральном нематике локально совпадают. Этот вывод связан с тем, что существует прямо пропорциональная зависимость между  $\Delta n$  и параметром порядка  $S$ :  $\Delta n \sim Sp^{1/2}$ , где  $\rho$  – плотность ЖК [21].

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации (мезоморфные свойства – № 4.1929.2017/4.6, оптические свойства – № 4.7305.2017/8.9).

#### Список литературы / References

1. Seki H., Uchida T., Shibata Y. Dichroic dyes for guest-host liquid crystal cell. *Jap. J. Appl. Phys.*, 1985, **24** (5), 299–301.
2. Бурмистров В. А., Александрийский В. В., Коифман О. И. Водородная связь в термотропных жидких кристаллах. М.: KRASAND, 2013. 352 с. [Burmistrov V.A., Alexandriysky V.V., Koifman O.I. Hydrogen bond in thermotropic liquid crystals. Moscow: KRASAND, 2013, 352 p. (in Russ.)].
3. Burmistrov V.A., Alexandriysky V.V., Koifman O.I. Influence of the molecular structure of a nematic solvent on hydrogen bonding with non – mesomorphic proton – donors. *Liquid crystals*, 1995, **18** (4), 657–664. DOI: 10.1080/02678299508036671.
4. Burmistrov V.A., Alexandriysky V.V., Koifman O.I. Orientational effects of hydrogen bonding in liquid crystalline in solutions containing Schiff bases. *Liquid Crystals*, 1992, **12** (3), 403–415. DOI: 10.1080/02678299208031057.
5. Бурмистров В. А., Александрийский В. В. Ориентационная упорядоченность полярных немезоморфных веществ в растворах нематических азометинов // *Журн. физ. химии*. 1990. Т. 64, № 3. С. 826–829. [Burmistrov V.A., Aleksandriiskii V.V. Orientation ordering of polar nonmesomorphic substances in nematic azomethine solutions. *Zhurnal Fizicheskoi Khimii*. 1990, **64** (3), 826–829 (in Russ.)].
6. Александрийская Е. В., Новиков И. В., Александрийский В. В., Бурмистров В. А. Влияние немезоморфных добавок на свойства жидкокристаллических материалов. I. Смеси цианпроизводных мезогенов с *p*-нитроанилином и азобензолом // *Жидк. крист. и их практич. использ.* 2008. Вып. 2. С. 72–77. [Aleksandriiskaya E.V., Novikov I.V., Aleksandriiskii V.V., Burmistrov V.A. Influence of nonmesomorphic additives on the properties of liquid crystal materials. I. Mixtures of cyanogen-producing mesogens with *p*-nitroaniline and azobenzene. *Liq. Cryst. and their Appl.*, 2008, 2, 72–77 (in Russ.)].
7. Александрийская Е. В., Кувшинова С. А., Новиков И. В., Александрийский В. В., Тарарькина Т. В., Майзlish В. Е., Бурмистров В. А. Особенности влияния немезоморфных замещенных бензонитрилов на диэлектрические свойства жидкокристаллических цианобифенилов // *Журн. физ. химии*. 2008. Т. 82, № 7. С. 1364–1367. [Aleksandriiskaya E.V., Kuvshinova S.A., Novikov I.V., Aleksandriiskii V.V., Tararykina T.V., Maizlish V.E., Burmistrov V.A. Effects of Nonmesomorphic Substituted Benzonitriles on the Dielectric Properties of Cyanobiphenyl Liquid Crystals. *Russian Journal of Physical Chemistry A*, 2008, **82** (7), 1211–1214. DOI: 10.1134/S0036024408070285].
8. Бобрицкая Е. В., Новиков И. В., Волков В. В., Александрийский В. В., Бурмистров В. А. Влияние немезоморфных добавок на свойства жидкокристаллических материалов. II. Смеси цианопроизводных мезогенов с 4-аминобензонитрилом // *Жидк. крист. и их практич. использ.* 2009. Вып. 2. С. 39–44. [Bobritskaya E.V., Novikov I.V., Volkov V.V., Aleksandriiskii V.V., Burmistrov V.A. Influence of nonmesomorphic additives on the properties of liquid crystal materials. II. Mixtures of cyano derivatives of mesogens with 4-aminobenzonitrile. *Liq. Cryst. and their Appl.*, 2009, 2, 39–44 (in Russ.)].
9. Бобрицкая Е. В., Александрийский В. В., Новиков И. В., Кувшинова С. А., Бурмистров В. А. Влияние немезоморфных добавок на свойства жидкокристаллических материалов. III. Смеси цианопроизводных мезогенов с гидроксилпроизводными бензонитрила // *Жидк. крист. и их практич. использ.* 2010. Вып. 1. С. 94–100. [Bobritskaya E.V., Aleksandriiskii V.V., Novikov I.V., Kuvshinova S.A., Burmistrov V.A. Influence of nonmesomorphic additives on the properties of liquid crystal materials. III. Mixtures of cyano derivatives of mesogens with hydroxyl derivatives of benzonitrile. *Liq. Cryst. and their Appl.*, 2010, 1, 94–100. (in Russ.)].

10. Бурмистров В. А., Александрыйский В. В., Койфман О. И. Ориентационные свойства комплексов с водородной связью немезоморфный компонент – жидкий кристалл. Нематические растворы *n*-нитроанилина // *Журн. физ. химии*. 1991. Т. 65, № 3. С. 694–698. [Burmistrov V.A., Aleksandriiskii V.V., Koifman O.I. Orientation properties of complexes with nonmesomorphic component – liquid crystal hydrogen-bond. Nematic solutions of para-nitroaniline. *Zhurnal Fizicheskoi Khimii*, 1991, **65** (3), 694–698 (in Russ.)].
11. Celebre G., De Luca G., Maiorino M., Iemma F., Ferrarini A., Pieraccini S., Spada G. Solute – Solvent Interactions and Chiral Induction in Liquid Crystals. *J. Am. Chem. Soc.*, 2005, **127** (33), 11736–11744. DOI: 10.1021/ja051589a.
12. Chilaya G. Induction of chirality in nematic phases. *Revue Phys. Appl.*, 1981, 16, 193–208. DOI: 10.1051/rphysap:01981001605019300.
13. Бурмистров В. А., Новиков И. В., Александрыйский В. В., Койфман О. И. Влияние оптически активной 4-(2-*s*(+)-метилбутилокси)бензойной кислоты на мезоморфные, диэлектрические и оптические свойства жидкокристаллических смесей на основе 4-алкилокси-4'-цианобифенилов // *Жидк. крист. и их практич. использ.* 2017. Т. 17, № 3. С. 41–49. [Burmistrov V.A., Novikov I.V., Aleksandriiskii V.V., Koifman O.I. Influence of chiral 4-(2-*s*(+)-methylbutyloxy)benzoic acid on mesomorphic, dielectric and optical properties of liquid crystalline mixtures based on 4-alkyloxy-4'-cyanobiphenyls. *Liq. Cryst. and their Appl.*, 2017, **17** (3), 41–49. DOI: 10.18083/LCAppl.2017.3.41.
14. Burmistrov V.A., Novikov I.V., Aleksandriiskii V.V., Islyaikin M.K., Koifman O.I. Intermolecular interactions and chiral induction in nematic liquid crystal phase by camphorsubstituted 2,3-dicyanopyrazine. *Journal of Molecular Liquids*, 2017, **244**, 398–404. DOI: 10.1016/j.molliq.2017.08.124.
15. Kelly S.M., O'Neill M. Liquid crystals for electro-optic applications/handbook of advanced electronic and photonic materials and devices. *Liquid Crystals, Display and Laser Materials* / Ed. H.S. Nalwa. N.Y., Academic Press, 2000, 1–66.
16. Fukuda K., Suzuki H., Ni J., Tokita M., Watanabe J. Relationship between Chemical Structure and Helical Twisting Power in Optically Active Imine Dopants Derived from (R)-(+)-1-(1-Naphthyl)ethylamine. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2007, **46**, 5208–5212. DOI: 10.1143/JJAP.46.5208.
17. Dierking I. Textures of Liquid Crystals. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2003. ISBN 3-527-30725-7.
18. Thompson M.P., Lemieux R.P. Chiral induction in nematic and smectic C liquid crystal phases by dopants with axially chiral 1,11-dimethyl-5,7-dihydrodibenz[*c,e*]thiepin cores. *J. Mater. Chem.*, 2007, **17**, 5068–5076. DOI: 10.1039/B712253E.
19. Januszko A., Kaszynski P., Drzewinsky W.J. Ring effect on helical twisting power of optically active mesogenic esters derived from benzene, bicyclo[2.2.2]octane and *p*-carborane carboxylic acids. *J. Mater. Chem.*, 2006, **16**, 452–461. DOI: 10.1039/b512319d.
20. Gottarelli G., Spada G.P. Induced Cholesteric Mesophases: Origin and Application. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 1985, **123**, 377–388. DOI: 10.1080/00268948508074792.
21. Гребёнкин М. Ю., Иващенко А. В. Жидкокристаллические материалы. М.: Химия, 1989. 288 с. [Greibenkin M. Yu., Ivaschenko A.V. Liquid crystal materials. M.: Chemistry, 1989, 288 p. (in Russ.)].

Поступила в редакцию 2.03.2018 г.  
Received 2 March 2018