

ВЛИЯНИЕ (БИС)КАМФОРАЛИДЕН-ГЕКСАМЕТИЛЕНДИАМИНА НА МЕЗОМОРФНЫЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМЕСИ ЦИАНОБИФЕНИЛОВ**В.В. Александрийский, А.А. Батракова, И.В. Новиков, В.А. Бурмистров, О.И. Койфман**

Ивановский государственный химико-технологический университет (ФГБОУ ВО ИГХТУ), Кафедра химии и технологии высокомолекулярных соединений (ХиТВМС), Иваново, Шереметевский проспект, д. 7, 153000

E-mail: nmr@isuct.ru, a.ukhova@yandex.ru, burmistrov@isuct.ru, oik@isuct.ru

Исследованы мезоморфные, оптические и диэлектрические свойства нематической смеси 4-пентилокси- и 4-гептилокси-4'-цианобифенилов, допированной оптически активным (бис)камфоралиден-гексаметилендиамином. Методом поляризационной микроскопии измерены температуры просветления смесей. Проведена оценка степени дестабилизации мезофазы при введении допанта. Измерен шаг спирали индуцированной хиральной нематики в смесях. Изучено влияние хирального допанта на анизотропные характеристики мезофазы.

Ключевые слова: жидкие кристаллы, камфорпроизводные, термостабильность, хиральность, допанты, двулучепреломление, диэлектрические свойства

INFLUENCE OF (BIS)CAMPHORALIDENE-HEXAMETHYLENENDIAMINE ON MESOMORPHIC AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF THE MIXTURE OF CYANOBIPHENYLS**V.V. Aleksandriiskii, A.A. Batrakova, I.V. Novikov, V.A. Burmistrov, O.I. Koifman**

Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Department of Chemistry and Technology of Macromolecular Compounds, Ivanovo, Russia, 153000

E-mail: nmr@isuct.ru, a.ukhova@yandex.ru, burmistrov@isuct.ru, oik@isuct.ru

E-mail: eldarmm@yahoo.com

The mesomorphic, optical and dielectric properties of the nematic mixture of 4-pentyloxy- and 4-heptyloxy-4'-cyanobiphenyls doped with optically active (bis)camphoralidene-hexamethylenediamine were studied. The clearance temperatures of the mixtures were measured using polarization microscopy. The destabilization degree of the mesophase upon the introduction of a dopant was assessed. The helical pitch of the induced chiral nematic in mixtures was measured. The influence of a chiral dopant on the anisotropic characteristics of the mesophase was studied.

Key words: liquid crystals, camphor derivatives, thermal stability, chirality, dopants, birefringence, dielectric properties

Для цитирования:

Александрийский В.В., Батракова А.А., Новиков И.В., Бурмистров В.А., Койфман О.И. Влияние (бис)камфоралиден-гексаметилендиамина на мезоморфные и физико-химические свойства смеси цианобифенилов. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2023. Т. LXVII. № 3. С. 57–62. DOI: 10.6060/RCJ.2023673.8.

For citation:

Aleksandriiskii V.V., Batrakova A.A., Novikov I.V., Burmistrov V.A., Koifman O.I. Influence of (bis)camphoralidene-hexamethylenediamine on mesomorphic and physico-chemical properties of the mixture of cyanobiphenyls. *Ros. Khim. Zh.* 2023. V. 67. N 3. P. 57–62. DOI: 10.6060/RCJ.2023673.8.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из перспективных современных направлений в химии жидких кристаллов является дизайн спиральных мезофаз путем инкорпорирования хиральных допантов в матрицу нематиков [1]. Этот процесс связан с индукцией молекулярной хиральности в жидкокристаллических фазах [2]. Актуальность такого подхода обусловлена необходимостью создания перспективных электрооптических устройств отображения информации, работающих со сверхмалыми управляющими напряжениями на твист-эффектах [3], хроматографических стационарных фаз с высокой хиральной селективностью [4], гибких магнитов [5], светочувствительных наноструктур [6] и других интеллектуальных ЖК материалов [7, 8]. Успешное решение этих задач невозможно без экспериментального исследования механизмов хиральной индукции третьего уровня оптически активный допант – нематический жидкий кристалл. В последнее десятилетие появилось большое число работ, посвященных решению этих проблем [9, 10]. Особый интерес среди хиральных допантов представляют производные камфоры. Так, в работах [11, 12] исследована хиральная индукция спиральных ЖК фаз под действием дикамфоразамещенного гемипорфирина и его прекурсора – камфородицианопиразина. Показано, что образование макроцикла приводит к четырехкратному повышению эффективности (*helical twisting power*, НТП) по сравнению с его прекурсором, но при этом эффективность индукции остается небольшой ($2 \mu\text{m}^{-1}$ [11]).

В представляемой работе в качестве допанта для жидкокристаллических материалов был использован оптически активный (1R,4R) (бис)камфоралиден-гексаметилендиамин (C6-bisCamN+).

Отметим, что иминопроизводные камфоры широко используются как хиральные лиганды в асимметрическом синтезе и являются одним из важнейших классов азотсодержащих органических соединений, которые широко используются в области медицинской химии [13].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе в качестве мезоморфной матрицы использовали жидкокристаллическую смесь (СВ-2) на основе производных цианобифенила: 55% 4-пентилокси-4'-цианобифенила и 45% 4-гексилокси-4'-цианобифенила, проявляющую нематическую фазу в диапазоне 22 - 74.5 °С. Жидкокристаллические смеси на основе СВ-2 с добавлением С6-bisCamN готовили гравиметрически.

В качестве хирального допанта использовали (1R,4R)(бис)камфоралиден-гексаметилендиамин (C6-bisCamN+), а также его рацемат (C6-bisCamN±).



(1R,4R)(бис)камфоралиденгексаметилендиамин (C6-bisCamN+) и рацемат (C6-bisCamN±) синтезированы аналогично работе [14].

Для C6-bisCamN+ с использованием поляриметра Polartronik V202 (Schmidt-Haensch, Германия) был измерен удельный угол оптического вращения, который составил $[\alpha]^{25} = -24,7^\circ$.

Дипольный момент допанта определяли методом Гугенгейма и Смита с использованием данных по диэлектрической проницаемости и показателя преломления растворов в четыреххлористом углероде (для C6-bisCamN+ $\mu = 2,64 \text{ D}$, для C6-bisCamN± $\mu = 2,12 \text{ D}$).

Температуры фазовых переходов определяли методом термомикроскопии с использованием поляризационного микроскопа «Полам Р21 1» с термостолком и камерой, позволяющей фиксировать текстуры соединений и фазовые переходы в динамике. Дополнительно температуры фазовых переходов контролировали при проведении других экспериментов: измерении диэлектрических постоянных и двулучепреломления.

Измерение шага спирали исследуемых хиральных жидкокристаллических растворов проводили методом Гранжана-Кано [15].

Диэлектрическую проницаемость измеряли на частоте 10 КГц с использованием прибора LCR-817 (INSTЕК) в плоскопараллельной ячейке с зазором между электродами 0,2 мм, помещённой в магнитное поле 0,2 Т. Измерения проводили при различных температурах параллельно (ϵ_{\parallel}) и перпендикулярно (ϵ_{\perp}) направлению магнитного поля. Погрешность определения ϵ не превышала $\pm 0,02$.

Двулучепреломление измеряли рефрактометрическим способом. С использованием термостабируемого рефрактометра Abbe непосредственно определяли показатели преломления обыкновенного луча $n_o = n_{\perp}$ в мезоморфном состоянии и изотропно-жидкой фазе (n_{is}) на длине волны 589 нм. Индекс рефракции необыкновенного луча $n_e = n_{\parallel}$

рассчитывали из соотношения для среднего значения: $n^2 = 1/3(n_e^2 + 2n_o^2)$, определяемого путем экстраполяции n_{is} в область нематической фазы. Погрешность определения двулучепреломления не превышала 1,0%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Методом поляризационной термомикроскопии были измерены температуры просветления смесей при различных концентрациях добавок. Анализ

текстур мезофазы смесей, допированных С6-bisCamN, показывает, что введение хирального допанта сопровождается образованием текстур «отпечатков пальцев» (Рис. 1 б,в), свидетельствующих об индуцировании хиральной нематической фазы N*. В то же время добавление рацемата (г) не приводит к образованию спиральной фазы, а текстура исходной нематической смеси СВ-2 изменяется на «мраморную».

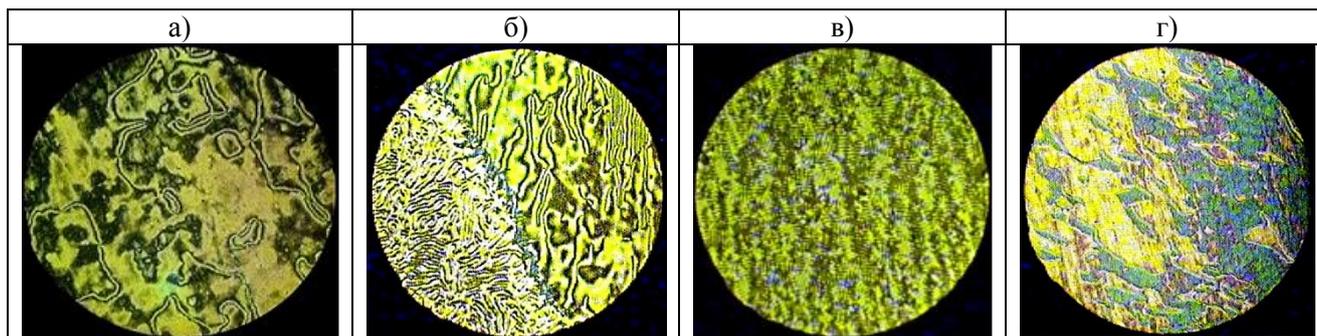


Рис. 1. Шлирен текстура нематической фазы СВ-2 при 30 °С (а); образование текстуры «отпечатков пальцев» в смеси СВ-2 + 4,2% С6-bisCamN+ при 50 °С (б); текстура «отпечатков пальцев» смеси СВ-2 с 3,5% С6-bisCamN+ при 50 °С (в); мраморная текстура нематической фазы смеси СВ-2 с 3,0% С6-bisCamN± при 50 °С (г)

На рис. 2 представлен фрагмент фазовых диаграмм исследуемых смесей в области температур просветления. Добавление как оптически активного допанта, так и его рацемата приводит к уменьшению интервала мезофазы в основном за счет снижения температур просветления (переход мезофаза - изотропная жидкость). При этом наклон зависимости приведенной температуры просветления T_{N^*}/T_{NI}° (T_{NI}° – температура нематико-изотропного перехода исходной смеси) от мольной доли допанта $n_2 - \beta$ [11] является количественной характеристикой влияния немезоморфной добавки на жидкокристаллические свойства. Отметим практически равные величины $\beta = -1.19$ °/мол.доли. для С6-bisCamN+ и $\beta = -1.22$ °/мол.доли. для С6-bisCamN±. Сильное дестабилизирующее воздействие допанта на мезофазу смеси СВ-2 связано с стерическими взаимодействиями объемных камфорных фрагментов и матрицей ЖК, и низкой геометрической анизотропией молекул данных допантов. Аналогичное воздействие оказывают на термостабильность СВ-2 другие камфорапроизводные [12, 16].

Одной из основных характеристик спиральных мезфаз является шаг спирали P [1]. Для исследуемых хиральных жидкокристаллических смесей СВ2 + С6-bisCamN+ методом Гражана-Кано был измерен шаг спирали при варьировании температуры и концентрации оптически активного допанта.

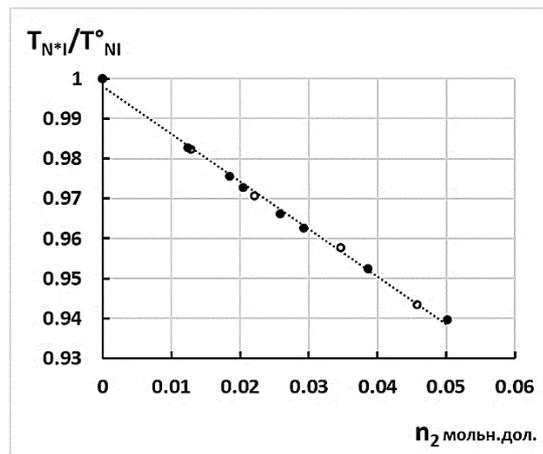


Рис. 2. Концентрационная зависимость относительной температуры просветления T_{N^*}/T_{NI}° систем СВ-2 + С6-bisCamN+ (●) СВ-2 + С6-bisCamN± (○)

Анализ данных рис.3а показывает, что с ростом температуры шаг спирали для всех составов бинарной системы увеличивается, а ход зависимости $1/P=f(T)$ аналогичен температурным зависимостям параметра порядка нематических ЖК [17]. Таким образом снижение величин $1/p$ при повышении температуры обусловлены снижением ориентационной упорядоченности вследствие роста интенсивности теплового движения.

На основании данных по шагу спирали были рассчитаны величины энергии закручивания (helical twisting power) НТП [15]:

$$\text{НТР} = (\text{P} \cdot n_2 \cdot r)^{-1} \quad (1)$$

где P шаг спирали, n_2 – мольная доля допанта, r – энантиомерная чистота допанта

Этот параметр зависит от структуры допанта и жидкого кристалла, а также природы межмолекулярных взаимодействий в системе [18].

Анализ данных показал, что энергия закручивания НТР в системе СВ-2 + С6-bisCamN+ (рис.3б) при увеличении концентрации допанта и температуры снижается, приближаясь к нулевым значениям.

Следует отметить, что максимальные значения НТР для систем СВ-2 + С6-bisCamN+ ($\text{НТР}=22\mu\text{м}^{-1}$) заметно превышают величины полученные ранее для оптически активного камфорзамещенного гемипорфирина (+)НРА в смеси ци-

анобифенилов СВ-6 ($\text{НТР}=2,19 \mu\text{м}^{-1}$ [5]), камфорзамещенного дицианопиразина R(+)-CDCP ($0,57 \mu\text{м}^{-1}$ [6]) и структурного гомолога бис(камфоролиден)этилендиамин в смеси СВ-2 ($3,3 \mu\text{м}^{-1}$ [18, 19]).

Причина роста эффективности хиральной индукции может быть связана с присутствием в структуре С6-bisCamN+ достаточно протяженного спейсера соединяющего два камфорных фрагмента. При этом величины дипольных моментов (для С6-bisCamN+ $\mu=2,64 \text{ D}$ для С2-bisCamN+ $\mu=3,15 \text{ D}$ [19]) и углов оптического вращения ($-24,737$ и $-29,6^\circ$ соответственно для гомологов С6 и С2) бис(камфоролиден)алкилдиаминов близки. Такие значения дипольных моментов могут быть обусловлены присутствием гош-конформера в составе алифатической цепи, как было показано для С2-bisCamN+[19].

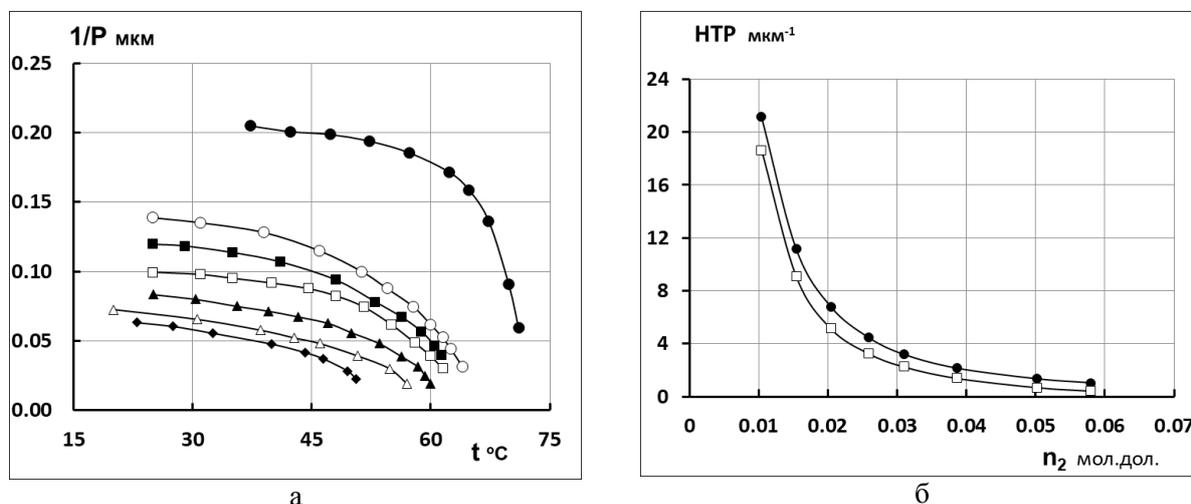


Рис. 3. а) Температурная зависимость величин обратных шагу спирали в смесях СВ-2 + С6-bisCamN+ (● – 1,44%; ○ – 2,81%; ■ – 4,24%; □ – 3,55; ▲ – 5,27; Δ – 6,83%; ◆ – 7,86%); б) концентрационная зависимость энергии закручивания при (● – 25 °С; □ – 50 °С)

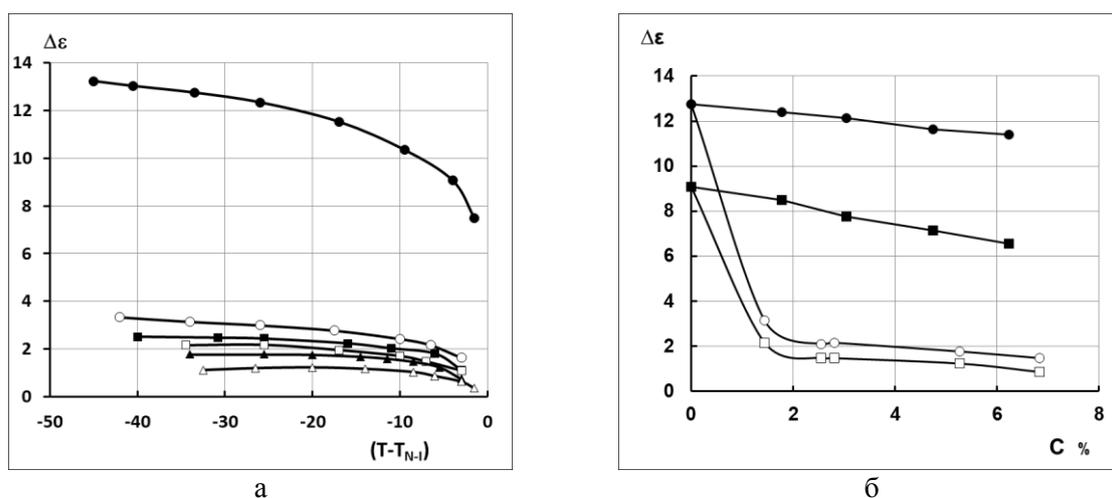


Рис. 4. Зависимость анизотропии диэлектрической проницаемости Δε смесей (а) СВ-2 + С6-bisCamN+ от приведённой температуры (● – СВ-2; ○ – 1,44%; ■ – 2,55%; □ – 2/80 %; ▲ – 5,27%; Δ – 6,89% допанта); (б) от концентрации допантов С6-bisCamN+ (незаполненные символы), СВ2 + С6-bisCamN± (заполненные символы) при двух приведённых температурах ●○ – 35° ■□ – 5°

Одним из важных эксплуатационных параметров жидкокристаллических материалов является анизотропия диэлектрической проницаемости $\Delta\epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}$ [5, 6], величина которой зависит от молекулярных (поляризуемость, дипольный момент) и надмолекулярных (ориентация диполей) параметров. В связи с этим нами были получены температурные зависимости компонент диэлектрической проницаемости (ϵ_{\parallel} , ϵ_{\perp}) и рассчитаны значения $\Delta\epsilon$ для систем на основе СВ-2 при различных концентрациях оптически активного допанта и его рацемата.

Анализ температурных и концентрационных зависимостей $\Delta\epsilon$ систем СВ-2 + С6-bisCamN[±] (рис. 4 а,б) показывает, что даже небольшое содержание в смеси оптически активного допанта (1,44%) вызывает резкое снижение диэлектрической анизотропии. При этом добавление рацемата (С6-bisCamN[±]) не приводит к столь кардинальному падению величины $\Delta\epsilon$ (рис. 4б). Учитывая незначительную равную полярность обоих допантов и антипараллельную ассоциацию молекул алкилоксицианобифенилов [20], можно сделать вывод, что основной вклад в уменьшение $\Delta\epsilon$ смеси СВ-2 + С6-bisCamN[±] вносит дополнительная компенсация дипольных моментов за счет сдвига директора в квазинематических слоях хиральной нематики.

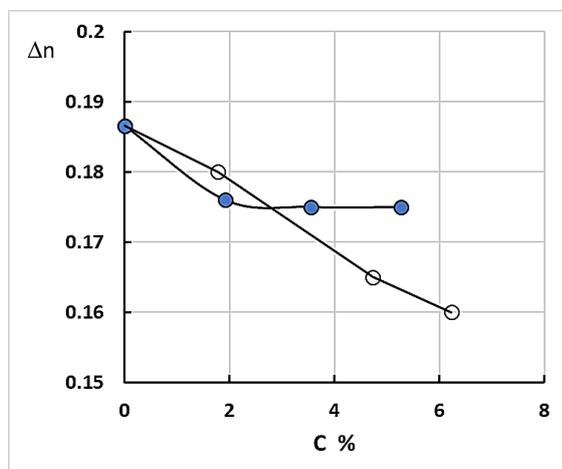


Рис. 5. Зависимости двулучепреломления от концентрации допанта в смеси СВ-2 + С6-bisCamN[±] (●) СВ-2 + С6-bisCamN[±] (○) при $(T-T_{NI}) = -25^\circ$

На рис. 5 представлены зависимости двулучепреломления смесей $\Delta n = n_{\parallel} - n_{\perp}$ от концентрации допантов при одной и той же приведенной температуре (-25°). Оптическая анизотропия (Δn) опре-

ЛИТЕРАТУРА

1. Kitzerow H-S, Bahr C. Chirality in Liquid Crystals. New York (NY): Springer-Verlag Inc; 2001.

деляет электрооптический отклик и связана с ориентационной упорядоченностью мезоморфных материалов прямо пропорциональной зависимостью [20]. Можно отметить, что добавление как хирального, так и ахирального бис(камфоралиден)гексаметилендиамина приводит к небольшому снижению двулучепреломления исходной смеси СВ-2. В то же время дальнейшее увеличение содержания С6-bisCamN[±] не влияет на двулучепреломление, а ход зависимости от концентрации (рис. 5) имеет аналогичный характер с концентрационной зависимостью диэлектрической анизотропии (рис. 4б) и энергии скручивания (рис. 3б).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методом поляризационной микроскопии изучены мезоморфные свойства (текстуры и температуры просветления) в смеси 4-(n)алкокси-4'-цианобифенилов ($n = 5,7$) (СВ-2), допированной оптически активным (бис)камфоралиден-гексаметилендиамином и его ахиральным аналогом. Измерен шаг спирали индуцированной хиральной нематики, а также рассчитана энергия закручивания спирали в зависимости от температуры и состава смесей. Показана эффективность оптически активного (бис)камфоралиден-гексаметилендиамина как хирального индуктора по сравнению с другими камфорзамещенными соединениями, связанная с увеличением длины конформационно лабильного спейсера.

Образование хиральной нематики сопровождается сильным снижением диэлектрической анизотропии при введении оптически активного допанта по сравнению с ахиральным аналогом.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ на выполнение НИР. Тема № FZZW-2023-0009. Для проведения исследований использовано оборудование Центра коллективного пользования Ивановского государственного химико-технологического университета (ИГХТУ) при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект 075-15-2021-671).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

REFERENCES

1. Kitzerow H-S, Bahr C. Chirality in Liquid Crystals. New York (NY): Springer-Verlag Inc; 2001.

2. *Chilaya G.* Rev. Phys. Appl. 1981. 16. 193–208. DOI: 10.1051/rphysap:01981001605019300.
3. *Kelly S.M., O'Neill M.* Liquid Crystals for Electro-Optic Applications. Handbook of Advanced Electronic and Photonic Materials and Devices / Ed. by H.S. Nalwa. N.Y. etc.: Academic Press, 2000. 7. P. 1–66.
4. *Онучак Л.А., Арутюнов Ю. И., Кураева Ю.Г., Бурматнова Т.С., Бурмистров В.А., Кувшинова С.А., Литов К. М.* Способ анализа структурных и оптических изомеров Патент РФ N 2528126. 10.09. 2014.
5. *Matt B., Pondman K.M., Asshoff S.J., ten Haken B., Fleury B., Katsonis N.* Angew. Chem. Int. Ed. 2014. 53. P. 12446–12450. DOI: 10.1002/anie.201404312.
6. *Eelkema R.* Liq. Cryst. 2011. 38. P. 1641–1652. DOI: 10.1080/02678292.2011.600779.
7. *Popov N., Honaker L.W., Popova M., Usol'tseva N., Mann E.K., Jáklí A., Popov P.* Materials. 2018. 11. 20. DOI: 10.3390/ma11010020.
8. *Yoshizawa A.* Liq. Cryst. 2019. 46. P. 1950–1972. DOI: 10.1080/02678292.2019.1611966.
9. *Ferrarini A., Pieraccini S., Masiero S., Spada G.P.* Beilstein J. of Org. Chem. 2009. 5 (50). P. 1–8. DOI: 10.3762/bjoc.5.50.
10. *Burmistrov V.A., Aleksandriiskii V.V., Novikov I.V., Koifman O.I.* Жидк. крист. и их практич. использ. / Liq. Cryst. and their Appl. 2020. 20 (4). P. 6–26. DOI: 10.18083/LCAppl.2020.4.6.
11. *Burmistrov V.A., Novikov I.V., Aleksandriiskii V.V.* J. Mol. Liq. 2019. V. 287. P.110961. DOI: 10.1016/j.molliq.2019.110961.
12. *Burmistrov V.A., Novikov I.V., Aleksandriiskii V.V.* J. Mol. Liq. 2017. 244. P. 398–404. DOI: 10.1016/j.molliq.2017.08.124.
13. *Sokolova A.S., Yarovaya O.I., Shernyukov A.V., Pokrovsky M.A., Pokrovsky A.G., Lavrinenko V.A., Zarubaev V.V., Tretiak T.S., Anfimov P.M., Kiselev O.I.* Bioorg. Med. Chem. 2013. 21. P. 6690–6698. DOI: 10.1016/j.bmc.2013.08.014.
14. *Sokolova A.S., Yarovaya O.I., Korchagina D.V., Zarubaev V.V., Tretiak T.S., Anfimov P.M., Kiselev O.I., Salakhutdinov N.F.* Bioorganic & Medicinal Chemistry. 2014. 22. P. 2141–2148. DOI: 10.1016/j.bmc.2014.02.038.
15. *Pieraccini S., Ferrarini A., Spada G. P.* Chirality. 2008. 20. P. 749–759. DOI: 10.1002/chir.20482.
16. *Батракова А.А., Новиков И.В., Александрийский В.В., Бурмистров В.А., Коифман О.И.* Рос. хим. ж. (Ж. Рос.хим. об-ва). 2022. Т. LXVI. № 4. С. 33–41. DOI: 10.6060/rcj.2022664.5.
17. *Бурмистров В.А., Александрийский В.В., Коифман О.И.* «Водородная связь в термотропных жидких кристаллах» - М.: КРАСАНД, 2013. - 352 с.
18. *Gottarelli G., Spada G.P.* Induced Cholesteric Mesophases: Origin and Application, Mol. Cryst. Liq. Cryst. 1985. 123(1). P. 377–388. DOI: 10.1080/00268948508074792.
19. *Burmistrov V., Batrakova A., Aleksandriiskii V., Novikov I., Belov K., Khodov I., Koifman O.* Molecules 2023. 28. 2388. DOI: 10.3390/molecules28052388.
20. *Dunmur D.A., Fukuda A., Luckhurst G.R.* Physical properties of liquid crystals: nematics. INSPEC, London, United Kingdom. 2001.
2. *Chilaya G.* Rev. Phys. Appl. 1981. 16. 193–208. DOI: 10.1051/rphysap:01981001605019300.
3. *Kelly S.M., O'Neill M.* Liquid Crystals for Electro-Optic Applications. Handbook of Advanced Electronic and Photonic Materials and Devices / Ed. by H.S. Nalwa. N.Y. etc.: Academic Press, 2000. 7. P. 1–66.
4. *Onuchak L.A., Arutunov J.I., Kuraeva J.G. et.al.;* Method for analysis of structural and optical isomers Russian patent RU 2528126. 2014.
5. *Matt B., Pondman K.M., Asshoff S.J., ten Haken B., Fleury B., Katsonis N.* Angew. Chem. Int. Ed. 2014. 53. P. 12446–12450. DOI: 10.1002/anie.201404312.
6. *Eelkema R.* Liq. Cryst. 2011. 38. P. 1641–1652. DOI: 10.1080/02678292.2011.600779.
7. *Popov N., Honaker L.W., Popova M., Usol'tseva N., Mann E.K., Jáklí A., Popov P.* Materials. 2018. 11. 20. DOI: 10.3390/ma11010020.
8. *Yoshizawa A.* Liq. Cryst. 2019. 46. P. 1950–1972. DOI: 10.1080/02678292.2019.1611966.
9. *Ferrarini A., Pieraccini S., Masiero S., Spada G.P.* Beilstein J. of Org. Chem. 2009. 5 (50). P. 1–8. DOI: 10.3762/bjoc.5.50.
10. *Burmistrov V.A., Aleksandriiskii V.V., Novikov I.V., Koifman O.I.* Жидк. крист. и их практич. использ. / Liq. Cryst. and their Appl. 2020. 20 (4). P. 6–26. DOI: 10.18083/LCAppl.2020.4.6.
11. *Burmistrov V.A., Novikov I.V., Aleksandriiskii V.V.* J. Mol. Liq. 2019. V. 287. P.110961. DOI: 10.1016/j.molliq.2019.110961.
12. *Burmistrov V.A., Novikov I.V., Aleksandriiskii V.V.* J. Mol. Liq. 2017. 244. P. 398–404. DOI: 10.1016/j.molliq.2017.08.124.
13. *Sokolova A.S., Yarovaya O.I., Shernyukov A.V., Pokrovsky M.A., Pokrovsky A.G., Lavrinenko V.A., Zarubaev V.V., Tretiak T.S., Anfimov P.M., Kiselev O.I.* Bioorg. Med. Chem. 2013. 21. P. 6690–6698. DOI: 10.1016/j.bmc.2013.08.014.
14. *Sokolova A.S., Yarovaya O.I., Korchagina D.V., Zarubaev V.V., Tretiak T.S., Anfimov P.M., Kiselev O.I., Salakhutdinov N.F.* Bioorganic & Medicinal Chemistry. 2014. 22. P. 2141–2148. DOI: 10.1016/j.bmc.2014.02.038.
15. *Pieraccini S., Ferrarini A., Spada G. P.* Chirality. 2008. 20. P. 749–759. DOI: 10.1002/chir.20482.
16. *Batrkova A.A., Novikov I.V., Aleksandriiskii V.V., Burmistrov V.A., Koifman O.I.* Ros. Khim. Zh. 2022. V. 66. N 4. P. 33–41. DOI:10.6060/rcj.2022664.5.
17. *Burmistrov V.A., Alexandriiskiy V.V., Koifman O.I.* "Hydrogen bonding in thermotropic liquid crystals" М.:KRASAND, 2013. 352 p. (in Russia).
18. *Gottarelli G., Spada G.P.* Induced Cholesteric Mesophases: Origin and Application, Mol. Cryst. Liq. Cryst. 1985. 123(1). P. 377–388. DOI: 10.1080/00268948508074792.
19. *Burmistrov V., Batrakova A., Aleksandriiskii V., Novikov I., Belov K., Khodov I., Koifman O.* Molecules 2023. 28. 2388. DOI: 10.3390/molecules28052388.
20. *Dunmur D.A., Fukuda A., Luckhurst G.R.* Physical properties of liquid crystals: nematics. INSPEC, London, United Kingdom. 2001.

Поступила в редакцию (Received) 14.08.2023
Принята к опубликованию (Accepted) 30.10.2023