

Физика

Научная статья

УДК 532.783

ЭЛЕКТРОИНДУЦИРОВАННЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ И СТРУКТУРНЫЙ ОТКЛИК КАПЕЛЬ ХОЛЕСТЕРИКА И НЕМАТИКА С КОНИЧЕСКИМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ

Кристина Андреевна Фейзер^{1*}, Михаил Николаевич Крахалев^{1,2}, Виктор Яковлевич Зырянов¹

¹*Институт физики им. Л. В. Киренского, ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия*

²*Институт инженерной физики и радиоэлектроники, Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия*

ИНФОРМАЦИЯ

История статьи:

Поступила 26.07.2022

Одобрена 29.08.2022

Принята 5.09.2022

Ключевые слова:

капсулированный полимером жидкий кристалл, холестерик, нематик, конические граничные условия, ориентационная структура, электрооптический отклик

АННОТАЦИЯ

Исследован электрооптический отклик пленок капсулированных полимером жидких кристаллов, в которых полимер задает конические граничные условия для холестерика и нематика. Показано, что для пленки на основе холестерика с относительным хиральным параметром капель, равным 0,32, управляющие напряжения меньше управляющих напряжений для пленок на основе нематика. Пороговые напряжения составляют 2,7 В и 4,9 В, а напряжения насыщения 7,3 В и 9,0 В для пленок на основе холестерика и нематика, соответственно. При напряжении насыщения светопропускание этих пленок составляет более 80 %. Пленка на основе холестерика переходит в состояние сильного рассеяния света в течение 85 мс после отключения напряжения, а пленка на основе нематика переходит в состояние начального рассеяния в течение нескольких дней. Существенные различия в электрооптическом отклике пленок на основе холестерика и нематика были объяснены с помощью исследования электроиндуцированных трансформаций ориентационных структур, формирующихся в каплях нематика и холестерика. Капсулированные полимером холестерические жидкие кристаллы с коническими граничными условиями перспективны для разработки устройств с низковольтным управлением.

DOI:

10.18083/LCAppl.2022.4.55

Для цитирования:

Фейзер К. А., Крахалев М. Н., Зырянов В. Я. Электроиндуцированный оптический и структурный отклик капель холестерика и нематика с коническими граничными условиями // *Жидк. крист. и их практич. использ.* 2022. Т. 22, № 4. С. 55–62.

*Адрес для переписки: fka@iph.krasn.ru

© Фейзер К. А., Крахалев М. Н., Зырянов В. Я., 2022

Physics

Research Article

ELECTRICALLY INDUCED OPTICAL AND STRUCTURAL RESPONSE OF CHOLESTERIC AND NEMATIC DROPLETS WITH CONICAL BOUNDARY CONDITIONS

Kristina A. Feizer¹ *, Mikhail N. Krakhalev^{1,2}, Viktor Ya. Zyryanov¹

¹*Kirensky Institute of Physics, Federal Research Center KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russia*

²*Institute of Engineering Physics and Radio Electronics, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia*

ARTICLE INFO:

Article history:

Received 26 July 2022

Approved 29 August 2022

Accepted 5 September 2022

Key words:

polymer dispersed liquid crystal,
cholesteric,
nematic,
conical boundary conditions,
orientational structure,
electro-optical response

ABSTRACT

The electro-optical response of polymer dispersed liquid crystals films has been studied. The polymer specifies the conical boundary conditions for the cholesteric and nematic LC. It is shown that for the cholesteric-based film with the relative chiral parameters of droplets equal to 0.32, control voltages are less than control voltages for the nematic-based film. The threshold voltages are 2.7 V and 4.9 V, and the saturation voltages are 7.3 V and 9.0 V for the cholesteric-based and nematic-based films, respectively. At saturation voltage, the light transmission of these films is over 80 %. The cholesteric-based film turns into a strong scattering state during 85 ms after switching off voltage, while the nematic-based film turns into initial scattering state during a few days. Significant differences in the electro-optical response of the studied films were explained using an examination of electrically induced transformations of the orientational structures formed in nematic and cholesteric droplets. Polymer dispersed cholesteric liquid crystals with conical boundary conditions are prospectful for the development of devices with low-voltage control.

DOI:

10.18083/LCAppl.2022.4.55

For citation:

Feizer K.A., Krakhalev M.N., Zyryanov V.Ya. Electrically induced optical and structural response of cholesteric and nematic droplets with conical boundary conditions. *Liq. Cryst. and their Appl.*, 2022, **22** (4), 55–62 (in Russ.).

*Corresponding author: fka@iph.krasn.ru

© Feizer K.A., Krakhalev M.N., Zyryanov V.Ya., 2022

Введение

Применение капсулированных полимером жидких кристаллов (КПЖК) в электрооптических устройствах обусловлено способностью капель жидкого кристалла (ЖК) изменять ориентацию директора (единичного вектора, направленного вдоль преимущественной ориентации длинных осей молекул жидкого кристалла), под воздействием внешних факторов, например электрического поля [1]. КПЖК-материалы широко используются в: дисплеях [2], световых затворах [3], тепловых датчиках или датчиках давления [4, 5], электрически управляемых линзах Френеля [6] и умных окнах с функцией управления рассеянием света [7, 8].

В настоящее время многие исследования КПЖК материалов сосредоточены на улучшении электрооптических характеристик КПЖК-пленок (управляющих напряжений, коэффициента пропускания, контрастного отношения). Так, например допирование ЖК дихроичным красителем позволяет увеличить контрастное отношение [9], добавление в ЖК наночастиц или использование модифицированной полимерной матрицы позволяет снизить управляющие напряжения [10, 11]. Задание конических граничных условий в каплях нематика позволяет одновременно уменьшить управляющие напряжения, достичь больших коэффициентов пропускания во включенном состоянии и значительного контрастного отношения CR [12, 13]. Однако процесс переключения в таких КПЖК-пленках протекает достаточно медленно [14], что является критичным для современных электрооптических устройств. Такая динамика отклика КПЖК-пленок обусловлена особенностями аксиал-биполярной конфигурации, формирующейся в каплях с коническим сцеплением. В частности, наличие двух стабильных состояний капель с минимальной энергией: 1) биполярная ось направлена перпендикулярно и 2) параллельно короткой оси капли нематика [15]. Как следствие, в таких КПЖК-пленках будет наблюдаться оптическая бистабильность или медленный процесс релаксации к исходному рассеивающему состоянию. В холестерике при конических граничных условиях возможно формирование закрученной аксиал-биполярной конфигурации. Капли с такой конфигурацией за счет закрутки

директора в плоскости кольцевого дефекта будут рассеивать свет при любой ориентации биполярной оси, в то время как аналогичные капли нематика практически не рассеивают свет, распространяющийся вдоль биполярной оси [16].

В данной работе проведен сравнительный анализ электрооптического отклика КПЖК-пленок на основе холестерика и нематика, при этом в обоих случаях полимер задавал одинаковые конические граничные условия для ЖК. Для объяснения специфики отклика рассмотрены соответствующие ориентационно-структурные превращения в каплях холестерика и нематика.

Эксперимент

В работе использовались КПЖК-ячейки стандартной конструкции, в которых КПЖК-пленка расположена между двух стеклянных подложек, покрытых с внутренней стороны ITO электродами [1]. В качестве нематика использовалась смесь LN-396 (Белорусский государственный технологический университет). Для получения холестерика смесь LN-396 допировалась хиральной добавкой хорестерил-ацетатом (*Sigma Aldrich*). Полиизобутил-метакрилат (PiMBA) (*Sigma Aldrich*) использовался как полимерная матрица. Образцы КПЖК-пленок были изготовлены по смешанной технологии *SIPS* и *TIPS* [17] с весовым соотношением ЖК : полимер = 60:40. Толщина КПЖК-слоя задавалась тефлоновыми спейсерами размером 20 мкм.

Для исследования электрооптического отклика были изготовлены КПЖК-ячейки со средним диаметром капель $d = 2,3$ мкм и концентрацией хиральной добавки 0 % и 1 % по весу, что соответствует относительному хиральному параметру $N_0 = 0$ (нематик) и $N_0 = 0,32$ (холестерик). Параметр $N_0 = 2d/p_0$ показывает число 180° поворотов директора, укладываемых на диаметре капли (здесь d – диаметр капли, p_0 – собственный шаг спирали холестерика). Для микроскопических исследований изменения ориентационной структуры в каплях под действием электрического поля были изготовлены КПЖК-ячейки с диаметром капель порядка 20 мкм. При этом для получения капель холестерика с близким к значению $N_0 = 0,32$ относительным хиральным параметром использовалась концентрация хиральной добавки 0,1 % по весу.

Исследование электрооптического отклика проводилось путем регистрации интенсивности прямо прошедшего через ЖК-ячейку излучения от He-Ne лазера ($\lambda = 632,8$ нм). Светопропускание T определялось как отношение интенсивности I света, прошедшего через образец, к интенсивности I_0 падающего на образец излучения: $T = (I/I_0)$. На КПЖК-ячейку подавалось переменное синусоидальное напряжение с частотой 1 кГц и варьируемой амплитудой. Морфология пленок и оптические текстуры капель ЖК исследовались с использованием поляризационного микроскопа *Axiomager.M1m*.

Результаты и их обсуждение

На рисунке 1, *a* показан оптический отклик КПЖК-пленок в зависимости от приложенного напряжения. Видно, что управляющие напряжения для образца с холестериком меньше, чем в случае КПЖК-пленки с нематиком. Так, пороговое напряжение по уровню 10 % U_{th} уменьшается в 1,8 раза со значения $U_{th} = 4,9$ В до $U_{th} = 2,7$ В, при этом напряжение насыщения по уровню 90 % U_{sat} уменьшилось в 1,2 раза с $U_{sat} = 9,0$ В до $U_{sat} = 7,3$ В. Одновременно с этим оба образца показывают высокое максимальное светопопускание, достигающее значения $T_{max} \cong 91$ %. В то же время наблюдается увеличение примерно в 1,5

раза минимального светопопускания T_{min} в исходном состоянии для образца на основе холестерика в сравнении с КПЖК-пленкой на основе нематика, что уменьшает величину контрастного отношения $CR = T_{max}/T_{min}$ до значения $CR = 257$ для образца с $N_0 = 0,32$, при этом для КПЖК ячейки, содержащей капли нематика, контрастное отношение равно $CR = 388$.

После выключения напряжения светопопускание КПЖК-пленки на основе нематика не возвращается в исходное состояние. Так, после выключения напряжения насыщения U_{sat} светопопускание образца уменьшается с 82 % до 73 % в течение одной минуты, до 54 % в течение часа и возвращается в исходное состояние в течение нескольких дней. Иная картина наблюдается для образца на основе холестерика (рис. 1, *b*). Из электрооптического отклика КПЖК-пленки, полученного для трех последовательно поданных импульсов напряжения, видно, что время включения при первом импульсе $\tau_{on} = 297$ мс значительно больше, чем при последующих, равных $\tau_{on} = 70$ мс. Время выключения τ_{off} КПЖК-пленки во всех случаях одинаково и составляет 85 мс. При этом светопопускание образца в выключенном состоянии после поданного напряжения не возвращается в исходное состояние, а увеличивается до $T_{min} = 1,7$ %, что уменьшает контрастное отношение CR до 47.

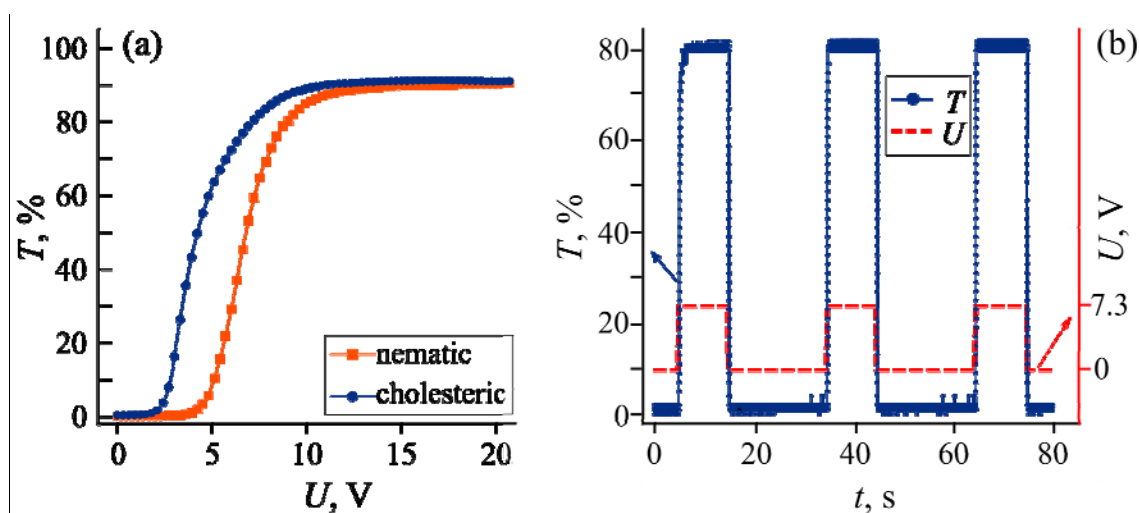


Рис. 1: *a* – Зависимости коэффициента пропускания T от приложенного напряжения U ; *b* – электрооптический отклик КПЖК-пленки на основе холестерика на три последовательных импульса напряжений $U_{sat} = 7,3$ В

Fig. 1: *a* – Dependences of light transmittance T on the applied voltage U ; *b* – the electro-optical response of the cholesteric-based film for three consecutive voltage pulses $U_{sat} = 7.3$ V

Исходно в каплях холестерика и нематика ориентация биполярной оси различна как в плоскости образца, так и по отношению к нормали к КПЖК-пленке. Начало отклика связано с переориентацией капель, у которых угол между биполярной осью и направлением электрического поля отличен от 90° (рис. 2, *a*). В таких каплях при малых полях наблюдается незначительная подориентация директора (рис. 2, *b, c*). При дальнейшем увеличении поля, в небольшом диапазоне приложенного напряжения, происходит значительное изменение ориентационной струк-

туры с переориентацией биполярной оси практически вдоль поля (рис. 2, *c, d*). Дальнейший рост напряжения приводит к более однородной ориентации директора вдоль поля (рис. 2, *e, f*). Из рис. 2 следует, что основные изменения структуры в капле холестерика происходят при напряжении, примерно в полтора раза меньшем, чем в случае капли нематика. Этим объясняется уменьшение порогового напряжения U_{th} для пленки с каплями холестерика в сравнении с образцом на основе нематика (рис. 1, *a*).

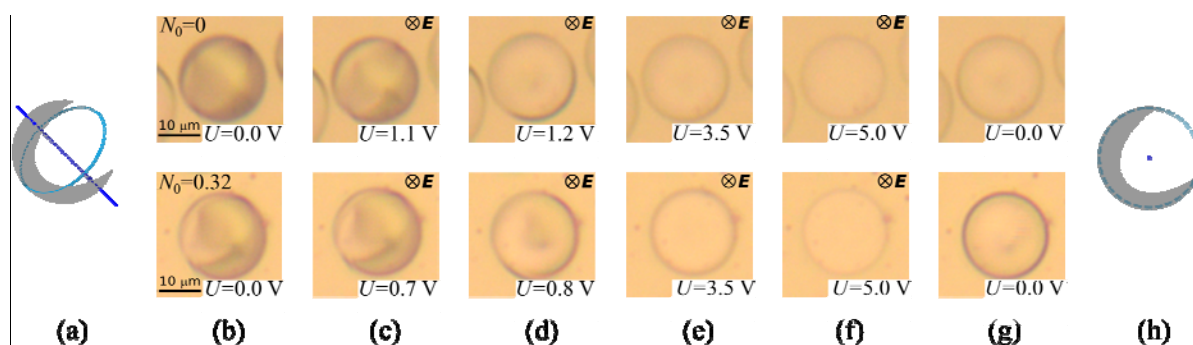


Рис. 2. Ориентация кольцевого дефекта и биполярная ось капель в исходном состоянии (*a*) и после воздействия электрического поля (*h*). Фотографии капель нематика ($N_0 = 0$) (верхний ряд) и холестерика ($N_0 = 0,32$) (нижний ряд) в исходном состоянии (*b*), при приложении указанных на рисунке напряжений (*c, d, e, f*), и после выключения электрического поля (*g*). В исходном состоянии угол между биполярной осью и плоскостью КПЖК-пленки отличен от 0°

Fig. 2. Circular defect orientation and bipolar axis of droplets in the initial state (*a*) and after the action of an electric field (*h*). Photos of nematic ($N_0 = 0$) (top row) and cholesteric ($N_0 = 0,32$) LC droplets in initial state (*b*), in the electric field (applied voltage values are shown for each case) (*c, d, e, f*), and after switch-off electric field (*g*). In the initial state, the angle between the bipolar axis and the PDLC film plane differs from 0°

В случае если исходно биполярная ось ориентирована перпендикулярно полю (рис. 3, *a*), отклик капли имеет пороговый характер. В таких каплях при малых полях практически не происходит переориентация структуры (рис. 3, *b, c*). При увеличении напряжения до критического значения происходит переориентация биполярной оси вдоль направления приложенного поля (рис. 3, *d*). Дальнейшее увеличение напряжения сопровождается более однородной подориентацией директора вдоль поля (рис. 3, *e, f*). В целом критическое напряжение,

необходимое для переориентации оси вдоль электрического поля, больше для капель, у которых биполярная ось исходно ориентирована перпендикулярно направлению поля (см. рис. 2, *d* и рис. 3, *d*). При этом критическое напряжение, требуемое для отклика капель холестерика, меньше напряжений, необходимых для переориентации биполярной оси капель нематика (рис. 3, *c, d*), что объясняет уменьшение напряжения насыщения U_{sat} в образце с холестериком.

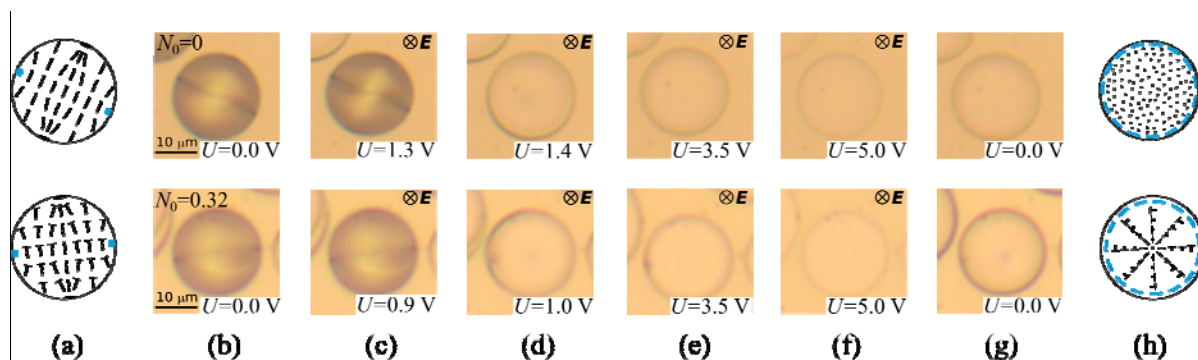


Рис. 3. Схема аксиал-биполярной (верхний ряд) и закрученной аксиал-биполярной (нижний ряд) структур в поперечном сечении капли, параллельном (а) и перпендикулярном (h) биполярной оси. Фотографии капли нематика ($N_0 = 0$) (верхний ряд) и холестерика ($N_0 = 0,32$) (нижний ряд) в исходном состоянии (b), при приложении указанных на рисунке напряжений (c, d, e, f), и после выключения электрического поля (g). В исходном состоянии угол между биполярной осью и плоскостью КПЖК пленки равен 0°

Fig. 3. Scheme of the axial-bipolar (top row) and twisted axial-bipolar (bottom row) structures in the droplet cross-section parallel (a) and perpendicular (h) to the bipolar axis. Photos of nematic ($N_0 = 0$) (top row) and cholesteric ($N_0 = 0.32$) (bottom row) LC droplets in initial state (b), in the electric field (applied voltage values are shown for each case) (c, d, e, f), and after switch-off electric field (g). In the initial state, the angle between the bipolar axis and the plane of the PDLC film is 0°

При приложении относительно высоких напряжений директор в каплях практически полностью ориентирован вдоль поля и, следовательно, вдоль направления распространения световой волны. В этом случае показатель преломления полимера оказывается равным показателю преломления ЖК [13] и капли практически не рассеивают свет (рис. 2, f и рис. 3, f). После выключения поля капли нематика и холестерика сохраняют ориентацию биполярной оси близко к нормали к пленке (рис. 2, g и рис. 3, g), которая остается практически неизменной в течение продолжительного времени (до нескольких часов). В случае нематика сохранившаяся ориентация биполярной оси соответствует ситуации, когда директор в большей части капли остается параллелен направлению распространения световой волны (рис. 3, h (верхний ряд)), и, как следствие, выключение поля (рис. 2, g (верхний ряд) и рис. 3, g (верхний ряд)) практически не увеличивает рассеяние света капель в сравнении с каплей под действием напряжения (рис. 2, f (верхний ряд) и рис. 3, f (верхний ряд)). В этом случае светопропускание КПЖК-пленки после выключения напряжения должно оставаться высоким в течение длительного времени, что и наблюдается в эксперименте.

Иная картина наблюдается для холестерика, для которого выключение поля (рис. 2, g (нижний ряд) и рис. 3, g (нижний ряд)) приводит к увеличению рассеяния света каплями в сравнении с каплями в сильном поле (рис. 2, f (нижний ряд) и рис. 3, f (нижний ряд)). Данный эффект можно объяснить тем, что в отсутствие поля в капле формируется закрученная аксиал-биполярная конфигурация, в которой директор наклонен к плоскости кольцевого дефекта (рис. 3, h (нижний ряд)). В результате угол между директором и направлением световой волны отличен от 0° , что приводит к рассогласованию показателя преломления ЖК и полимерной матрицы и, как следствие, рассеянию света. Поскольку для значения $N_0 = 0,32$ угол поворота директора на диаметре капли не превышает 58° , то величина рассогласования показателей преломления будет зависеть от ориентации биполярной оси по отношению к направлению световой волны. Вследствие этого интенсивность рассеяния света капель будет зависеть от ориентации биполярной оси (см. рис. 2, b, h (нижний ряд) и рис. 3, b, h (нижний ряд)). Этим объясняется возвращение КПЖК-пленки на основе холестерика в рассеивающее состояние после выключения напряжения, для которого T_{\min} имеет более высо-

кое в сравнении с исходным значение. Поскольку после выключения поля большая часть капель холестерика ориентирована биполярной осью вдоль прикладываемого поля, то при повторном включении напряжения процесс отклика структуры будет состоять только из подориентации директора вдоль поля. В этом случае время отклика капель на приложенное поле будет в среднем меньше в сравнении с ситуацией, когда под действием поля происходит поворот биполярной оси (первое включение напряжения). Как следствие, время включения на второй и последующие управляющие импульсы будет меньше, чем время включения при первом импульсе.

Выводы

Проведено исследование электрооптического отклика ячеек на основе КПЖК-пленок, в которых полимер задает конические граничные условия для нематика и холестерика. Показано, что для КПЖК-пленок с каплями холестерика с относительным хиральным параметром $N_0 = 0,32$ происходит уменьшение порогового управляющего напряжения U_{th} в 1,8 раза, а напряжение насыщения U_{sat} в 1,2 раза в сравнении с управляющими напряжениями для образцов на основе нематика. Одновременно с этим наблюдается значительное уменьшение времени выключения до $\tau_{off} = 85$ мс. Исследован отклик на электрическое поле капель нематика и холестерика, имеющих аксиал-биполярную и закрученную аксиал-биполярную конфигурации, соответственно. Показано, что капли холестерика переориентируются биполярной осью вдоль поля при меньших полях в сравнении с каплями нематика. При этом после выключения напряжения ориентация биполярной оси вдоль направления прикладываемого поля сохраняется, что соответствует слабому рассеянию света каплями нематика и заметному светорассеянию каплями холестерика. Полученные результаты являются перспективными для разработки оптоэлектронных устройств с низкими управляющими напряжениями, работающими на эффекте рассеяния света.

Список источников / References

1. Drzaic P.S. Polymer dispersed nematic liquid crystal for large area displays and light valves. *Appl. Phys.*, 1986, **60** (6), 2142–2148. DOI: 10.1063/1.337167.
2. Doane J.W. Polymer dispersed liquid crystal displays. *Liquid Crystals — Applications and Uses* / ed. by B. Bahadur. World Scientific, 1990, 361–395. DOI: 10.1142/1013.
3. Yu B.-H., Hyh J.-W., Kim K.-H., Yoon T.-H. Light shutter using dichroic-dye-doped long-pitch cholesteric liquid crystals. *Opt. Express*, 2013, **21** (24), 29332–29337. DOI: 10.1364/OE.21.029332.
4. Balenko N.V., Shibaev V.P., Bobrovsky A.Y. Mechano-optical response of novel polymer composites based on elastic polyurethane matrix filled with low-molar-mass cholesteric droplets. *Macromol. Mater. Eng.*, 2021, **306**, 2100262 (10 p.). DOI: 10.1002/mame.202100262.
5. Sirlito L., Righini G., Ciaccheri L., Rish M., Simoni F. Thermo-optical effects and fiber optic sensing device based on polymer dispersed liquid crystals. *Proc. SPIE OPTO*, 2001, **4277**, 403–410. DOI: 10.1117/12.426823.
6. Ren H., Fan Y.-H., Wu S.-T. Tunable Fresnel lens using nanoscale polymer-dispersed liquid crystals. *Appl. Phys. Lett.*, 2003, **83**, 1515–1517. DOI: 10.1063/1.1604943.
7. Cupelli D., Nicoletta F.P., Manfredi S., Vivacqua M., Formoso P., De Filipo G., Chidichimo G. Self-adjusting smart windows based on polymer-dispersed liquid crystals. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2009, **93**, 2008–2012. DOI: 10.1016/J.SOLMAT.2009.08.002.
8. Ishinabe T., Isa H., Shibata Y., Fujikake H. Flexible polymer network liquid crystals using imprinted spacers bonded by UV-curable reactive mesogen for smart window applications. *Inform. Display*, 2022, **23** (1), 69–75. DOI: 10.1080/15980316.2021.1960648.
9. Sharma V., Kumar P., Chinky., Malik P., Raina K.K. Preparation and electrooptic study of reverse mode polymer dispersed liquid crystal: Performance augmentation with the doping of nanoparticles and dichroic dye. *Appl. Polym. Sci.*, 2020, **137** (22), 48745 (9 p.). DOI: 10.1002/app.48745.
10. Jia M., Zhao Y., Gao H., Wang D., Miao Z., Cao H., Yang Z., He W. The Electro-optical study of Al_2O_3 nanoparticles doped polymer dispersed liquid crystal films. *Liq. Cryst.*, 2022, **49** (1), 39–49. DOI: 10.1080/02678292.2021.1943024.

11. Kizhakidathazhath R., Nishikawa H., Okumura Y., Higuchi H., Kikuchi H. High-performance polymer dispersed liquid crystal enabled by uniquely designed acrylate monomer. *Polymers*, 2020, **12**, 1625.
DOI: 10.3390/polym12081625.
12. Фейзер К. А., Крахалев М. Н., Шабанов В. Ф., Зырянов В. Я. Электрооптический отклик пленок капсулированного полимером нематика с коническими граничными условиями // *Сибирский Аэрокосмический журнал*. 2021. Т. 22, № 1. С. 201–209. [Feizer K.A., Krakhalev M.N., Shabanov V.F., Zyryanov V.Ya. Electrooptical response of the films of polymer dispersed nematic with conical boundary conditions. *Siberian Aerospace Journal*, 2021, **22** (1), 201–209. (in Russ.).
DOI: 10.31772/2712-8970-2021-22-1-201-209].
13. Крахалев М. Н., Рудяк В. Ю., Сутормин В. С., Прищепа О. О., Бикбаев Р. Г., Тимофеев И. В., Фейзер К. А., Зырянов В. Я. Жидкокристаллические материалы с коническими граничными условиями // *Жидк. крист. и их практич. использ.* 2021. Т. 21, № 4. С. 99–102. [Krakhalev M.N., Rudyak V.Yu., Sutormin V.S., Prishchepa O.O., Bikbaev R.G., Timofeev I.V. Feizer K.A., Zyryanov V.Ya. Liquid crystal materials under conical boundary conditions. *Liq. Cryst. and their Appl.*, 2021, **21** (4), 99–102 (in Russ.).
DOI: 10.18083/LCAppl.2021.4.99].
14. Krakhalev M.N., Prishchepa O.O., Sutormin V.S., Zyryanov V.Ya. Polymer dispersed nematic liquid crystal films with conical boundary conditions for electrically controllable polarizers. *Opt. Mater.*, 2019, **89**, 1–4. DOI: 10.1016/j.optmat.2019.01.004.
15. Rudyak V.Yu., Krakhalev M.N., Sutormin V.S., Prishchepa O.O., Zyryanov V.Ya., Liu J.-H., Emelyanenko A.V., Khokhlov A.R. Electrically induced structure transition in nematic liquid crystal droplets with conical boundary conditions. *Phys. Rev. E*, 2017, **96** (5), 052701.
DOI: 10.1103/PhysRevE.96.052701.
16. Gardymova A.P., Krakhalev M.N., Zyryanov V.Y. Optical textures and orientational structures in cholesteric droplets with conical boundary conditions. *Molecules*, 2020, **25** (7), 1740.
DOI: 10.3390/molecules25071740.
17. Drzaic P.S. *Liquid crystal dispersions*. Singapore, River Edge, NJ : World Scientific, 1995. 429 p.

Вклад авторов:

¹**Фейзер К. А.** – проведение исследований, написание текста статьи.

²**Крахалев М. Н.** – написание текста статьи, редактирование текста статьи.

³**Зырянов В. Я.** – научное руководство, концепция исследования, редактирование текста статьи.

Contribution of the authors:

¹**Feizer K. A.** – conducting research, writing the text of the article.

²**Krakhalev M. N.** – writing the text of the article, editing the text of the article.

³**Zyryanov V. Ya.** – scientific leadership, research concept, editing the text of the article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

¹<https://orcid.org/0000-0001-6940-5960>

²<https://orcid.org/0000-0003-3519-9497>

³<https://orcid.org/0000-0001-7373-3342>

Поступила 26.07.2022; одобрена 29.08.2022; принята 5.09.2022
 Received 26.07.2022; approved 29.08.2022; accepted 5.09.2022