

УДК 535.3;535.135

ЭЛЕКТРИЧЕСКИ КОНТРОЛИРУЕМЫЕ АНИЗОТРОПНЫЕ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ВОЛНОВОДЫ

*И. А. ГОНЧАРЕНКО¹⁾, О. С. КАБАНОВА²⁾, Е. А. МЕЛЬНИКОВА²⁾,
О. Г. РОМАНОВ²⁾, И. И. РУШНОВА²⁾, А. Л. ТОЛСТИК²⁾*

¹⁾ГУО «Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь»,
ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь

²⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Предложена технология создания электрически управляемых анизотропных волноводных жидкокристаллических структур на основе границ раздела двух жидкокристаллических областей, различающихся ориентацией директора. Разработаны тонкопленочные нематические жидкокристаллические волноводные элементы с перестраиваемыми параметрами и экспериментально установлены особенности возбуждения в них волноводного режима

Образец цитирования:

Гончаренко И. А., Кабанова О. С., Мельникова Е. А., Романов О. Г., Рушнова И. И., Толстик А. Л. Электрически контролируемые анизотропные жидкокристаллические волноводы // Журн. Белорус. гос. ун-та. Физика. 2017. № 2. С. 4–9.

For citation:

Goncharenko I. A., Kabanova O. S., Melnikova E. A., Romanov O. G., Rushnova I. I., Tolstik A. L. Electrically controlled anisotropic liquid crystal waveguides. *J. Belarus. State Univ. Phys.* 2017. No. 2. P. 4–9 (in Russ.).

Авторы:

Игорь Андреевич Гончаренко – доктор физико-математических наук, профессор; профессор кафедры естественных наук факультета подготовки научных кадров.

Ольга Сергеевна Кабанова – младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории нелинейной оптики и спектроскопии физического факультета.

Елена Александровна Мельникова – кандидат физико-математических наук, доцент; доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии физического факультета.

Олег Геннадьевич Романов – кандидат физико-математических наук, доцент; заведующий кафедрой компьютерного моделирования физического факультета.

Ирина Ивановна Рушнова – младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории нелинейной оптики и спектроскопии физического факультета.

Алексей Леонидович Толстик – доктор физико-математических наук, профессор; профессор кафедры лазерной физики и спектроскопии физического факультета.

Authors:

Igor Goncharenko, doctor of science (physics and mathematics), full professor; professor at the department of natural sciences, faculty research training.

igor02@tut.by

Olga Kabanova, junior researcher at the research laboratory of nonlinear optics and spectroscopy, faculty of physics.

kabanovaos@bsu.by

Elena Melnikova, PhD (physics and mathematics), docent; associate professor at the department of laser physics and spectroscopy, faculty of physics.

melnikova@bsu.by

Oleg Romanov, PhD (physics and mathematics), docent; head of the department of computer modeling, faculty of physics.

romanov@bsu.by

Irina Rushnova, junior researcher at the research laboratory of nonlinear optics and spectroscopy, faculty of physics.

rushnova@bsu.by

Alexei Tolstik, doctor of science (physics and mathematics), full professor; professor at the department of laser physics and spectroscopy, faculty of physics.

tolstik@bsu.by

распространения световых полей. Методами компьютерного моделирования выполнены расчеты конфигурации электростатического поля, ориентации директора жидкого кристалла, изменения показателя преломления и распространения лазерных пучков в волноводных жидкокристаллических элементах. Проведены вычисления постоянных распространения и поперечного распределения полей направляемых мод в волноводных жидкокристаллических структурах при различных значениях управляющего напряжения и толщины жидкокристаллического слоя, что позволило определить условия формирования электрически управляемой жидкокристаллической волноводной структуры.

Ключевые слова: нематический жидкий кристалл; волноводное распространение; полное внутреннее отражение; рефрактивная граница; оптическая анизотропия.

ELECTRICALLY CONTROLLED ANISOTROPIC LIQUID CRYSTAL WAVEGUIDES

*I. A. GONCHARENKO^a, O. S. KABANOVA^b, E. A. MELNIKOVA^b,
O. G. ROMANOV^b, I. I. RUSHNOVA^b, A. L. TOLSTIK^b*

^a*Institute for Command Engineers of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus,
Mashinostroitelei street, 25, 220118, Minsk, Belarus*

^b*Belarusian State University, Nezavisimosti avenue, 4, 220030, Minsk, Belarus*

Corresponding author: kabanovaos@bsu.by

In this paper the technology to generate the electrically controlled anisotropic liquid crystal (LC) waveguide structures based on the interface between two LC regions differing in the director orientations is put forward. Thin-film nematic LC waveguide elements with the adjustable parameters have been developed; the features of excitation of the light-field waveguide mode propagation in such elements have been demonstrated experimentally. Using computer simulation, the electrostatic field configuration, LC director orientation, changes in the refractive index, propagation of laser beams in the LC waveguide elements have been computed. The propagation constants and the transverse field distribution for the guided modes in LC waveguide structures have been calculated by the numerical methods at different control voltages and LC layer thicknesses making it possible to establish the formation conditions for the electrically controlled LC waveguide structure.

Key words: nematic liquid crystal; waveguide propagation; total internal reflection; refractive interface; optical anisotropy.

Уникальные свойства нематических жидких кристаллов делают их перспективными функциональными средами для создания новых интегрально-оптических устройств, таких как планарные и канальные волноводы [1–3], оптические переключатели [4; 5], аттенюаторы и поляризационные контроллеры [6], которые востребованы на современном рынке. Основной проблемой при создании таких элементов является задание ориентационного состояния директора жидкого кристалла, соответствующего определенному характеру формирования пространственной структуры светового поля на выходе устройства.

В результате экспериментов созданы и исследованы электрически управляемые анизотропные волноводные жидкокристаллические (ЖК) структуры, основанные на реализации эффекта полного внутреннего отражения (ПВО) излучения от рефрактивной границы раздела двух областей нематического жидкого кристалла с ортогональными ориентациями директора [7]. Для создания волноводных ЖК-устройств были использованы два метода:

1) метод текстурированного электрода – применение электродов специальной формы, позволяющих при подаче на ЖК-элемент внешнего управляющего напряжения сформировать в его плоскости пространственную модуляцию ориентации директора жидкого кристалла;

2) метод фотоориентации – создание в плоскости ЖК-элемента начальной планарно-ортогональной периодической ориентации директора жидкого кристалла на поверхности фоточувствительного полимерного слоя.

Схема экспериментальной установки для изучения особенностей волноводного режима распространения света в пространственно-структурированных ЖК-ячейках представлена на рис. 1 (см. цв. вклейку). В качестве источника излучения использовался He – Ne-лазер (1), генерирующий линейно-поляризованное излучение с расходимостью пучка 1,2 мрад и мощностью 15 мВт на длине волны 633 нм. Плавная

регулировка уровня мощности лазерного излучения осуществлялась светофильтром (2), обеспечивающим динамический диапазон пропускания от 90 до 1 %. Для повышения эффективности ввода лазерного излучения в торец волноводного ЖК-элемента использовался микрообъектив (3). Распространение электромагнитного излучения в волноводном ЖК-слое регистрировалось по свету, рассеянному на неоднородностях жидкого кристалла, при помощи микрообъектива (4) и камеры (5) прибора с зарядовой связью (ПЗС), позиционированной над плоскостью ячейки (6). Размеры области регистрации ПЗС-камеры составляют $3,8 \times 3,0$ мм с разрешением 1280×960 пк.

В эксперименте использовался положительный нематический ЖК-материал типа 1289, синтезированный в Научно-исследовательском институте органических полупроводников и красителей (Москва). Показатели преломления жидкого кристалла на длине волны 633 нм составляют $n_o = 1,52$ для обыкновенной волны и $n_e = 1,68$ – для необыкновенной волны.

Одним из способов реализации волноводных микроструктур в планарном ЖК-слое является использование структурированного электрода на подложке ЖК-ячейки [3]. Периодическое изменение показателя преломления в ЖК-слое, возникающее под действием внешнего электрического поля, обуславливает формирование управляемых ЖК-волноводов в ячейке. Глубина модуляции оптической анизотропии управляется внешним напряжением, приложенным к ячейке. При отключении внешнего электрического поля происходит исчезновение волноводных свойств ЖК-элемента.

Принципиальная схема волноводной ЖК-ячейки с текстурированным электродом представлена на рис. 2, а (см. цв. вклейку). Корпус ячейки составляют две стеклянные пластины (1). На одной из пластин (нижней) методом лазерной литографии сформирован электрод (2) в виде периодической структуры, представляющей собой чередующиеся полосы хрома шириной 10 мкм при ширине промежутка 10 мкм. Для визуализации пространственного распределения светового поля в тонкопленочном ЖК-слое на верхнюю пластину наносился прозрачный электропроводящий слой из окисла индия (ITO). Внутренняя поверхность пластин покрывалась слоем фотополимерного ориентанта (3) толщиной ~ 400 нм. Начальная планарная ориентация директора жидкого кристалла была реализована путем облучения натертого ориентанта неполяризованным УФ-излучением [8]. Подготовленные подложки склеивались фотополимерным клеем со спейсерами, которые представляют собой калиброванные по диаметру полимерные сферы. Толщина ЖК-слоя определялась диаметром спейсеров и составляла 20 мкм. Заправка ячейки нематическим жидким кристаллом осуществлялась в условиях изотропной фазы.

Картина распространения линейно-поляризованного вдоль оси x лазерного излучения в волноводной ЖК-ячейке, содержащей текстурированный электрод на подложке, представлена на рис. 2, б (см. цв. вклейку).

Принцип формирования управляемых волноводных каналов в изготовленном ЖК-элементе основан на реализации эффекта ПВО на границе раздела планарной и гомеотропной мезофаз. В условиях отсутствия внешнего напряжения ориентация молекул в тонкопленочном ЖК-слое является однородной планарной, поскольку директор направлен вдоль оси z . При распространении световой волны, линейно-поляризованной вдоль оси x , возбуждается обыкновенная волна ($n_o = 1,52$), претерпевающая дифракционную расходимость, т. е. имеет место быстрое убывание поля направляемой моды в планарном слое нематика (см. цв. вклейку, рис. 2, б).

При подаче на ячейку электрического напряжения, превышающего пороговое напряжение для перехода Фредерикса, начинается процесс переориентации директора в центре ЖК-слоя, находящегося в области структурированного электрода, т. е. имеет место изменение угла θ между директором \vec{n} жидкого кристалла и вектором напряженности \vec{E} падающей световой волны, как представлено на рис. 3 (см. цв. вклейку).

Показатель преломления для световой волны, поляризованной вдоль оси x , соответствует эффективному значению показателя преломления, превышающему величину показателя преломления для обыкновенной волны ($n_{\text{eff}}(\theta) \geq n_o$), при этом значение эффективного показателя преломления зависит от величины угла θ [3]:

$$n_{\text{eff}}(\theta) = \frac{n_e \cdot n_o}{\sqrt{n_e^2 \cdot \sin^2 \theta + n_o^2 \cdot \cos^2 \theta}}.$$

В смежных ЖК-областях, свободных от влияния внешнего электрического поля, ориентация директора остается планарной и для световой волны, поляризованной вдоль оси x , возбуждается обыкновенная волна с показателем преломления $n_o = 1,52$. Таким образом, формируются границы раздела двух ЖК-областей с различными ориентациями директора.

Согласно экспериментальным данным, представленным на рис. 2, б (см. цв. вклейку), при увеличении электрического напряжения, подаваемого на ЖК-элемент, длина распространения светового пучка в ЖК-ячейке возрастает. Это связано с тем, что при небольших напряжениях (например, $U = 1,2$ В) переориентация директора жидкого кристалла происходит только в центральной части слоя, вдали от подложек, что обуславливает проявление слабой волноводности в ячейке. Увеличение амплитуды внешнего напряжения сопровождается нелинейным уширением области ЖК-слоя (от центра слоя к подложкам), в пределах которой происходит переориентация директора жидкого кристалла и выполняется условие ПВО, необходимое для включения волноводного режима распространения света. Уже при трехкратном превышении порога перехода Фредерикса ($U = 3,5$ В) наблюдается устойчивый волноводный канал.

Для изготовления управляемых волноводных ЖК-ячеек с начальной планарно-ортогональной топологией директора был использован метод фотоориентации нематического ЖК-слоя при помощи фоторегистрирующих полимерных материалов [9]. Технология фотоориентации жидких кристаллов является бесконтактным методом, позволяющим реализовать анизотропные микроструктуры на поверхности фоточувствительных полимерных слоев. Поверхностная анизотропия в фотополимерном слое в виде периодических ориентирующих структур является оптически наведенной, поскольку индуцируется под воздействием экспонирования ориентанта поляризованным УФ-излучением через кварцевую амплитудную маску.

Схема ЖК-ячейки с оптически наведенными волноводными каналами представлена на рис. 4, а (см. цв. вклейку). Корпус ячейки состоит из двух стеклянных подложек, покрытых прозрачным электропроводящим слоем из ИТО. На очищенные подложки наносился тонкий слой фоточувствительного полимера методом центрифугирования. Экспонирование подложки поляризованным УФ-излучением с длиной волны 254 нм и мощностью полного светового потока $P = 30$ мВт/см² осуществлялось в два этапа. В ходе выполнения первого этапа было осуществлено экспонирование ориентирующего слоя через кварцевую амплитудную фотомаску в течение 2 мин, что привело к фотосшиванию периодически ориентированных областей фоторегистрирующего слоя в соответствии с амплитудным профилем фотомаски. На втором этапе подложка с ориентантом поворачивалась на 90° относительно поляризации записывающего излучения и облучалась в течение 2 мин через однородную кварцевую пластину.

Картины распространения линейно-поляризованного вдоль оси u лазерного излучения с оптически индуцированными волноводными каналами при различных управляющих напряжениях представлены на рис. 4, б (см. цв. вклейку).

Из экспериментальных данных видно, что в условиях отсутствия внешнего электрического поля в соответствии с рис. 4, а (см. цв. вклейку), в ячейке сформирована система оптически наведенных волноводных каналов. При распространении поляризованного вдоль оси u излучения в данной структуре в тех областях ЖК-слоя, где направление директора совпадает с направлением вектора электрической напряженности световой волны, формируется необыкновенная волна с показателем преломления $n_e = 1,68$. Если направления директора и указанного вектора \vec{E} перпендикулярны, возбуждается обыкновенная волна с показателем преломления $n_o = 1,52$. Таким образом, при $U = 0$ В реализуется режим волноводного распространения излучения, поляризованного вдоль оси u , за счет эффекта ПВО света от рефрактивной границы раздела ЖК-областей с ортогональными ориентациями директора. При подключении электрического поля к ЖК-ячейке ($U > U_{\text{пор}}$) в результате перехода Фредерикса промодулированная планарная ориентация директора заменяется однородной гомеотропной (вдоль оси x) и для геометрии, представленной на нижнем изображении рис. 4, а (см. цв. вклейку), возбуждается обыкновенная волна. Это приводит к разрушению волноводных каналов с ростом напряжения и выключению волноводного режима распространения света, как показано на рис. 4, б (см. цв. вклейку). При напряжении $U = 3,5$ В (трехкратное превышение над порогом перехода Фредерикса) волноводный режим распространения света полностью выключается и световой пучок претерпевает дифракционное расхождение.

Разработанная теоретическая модель позволяет рассчитывать конфигурацию электростатического поля, ориентацию директора жидкого кристалла и изменение показателя преломления жидкого кристалла в электрически управляемых волноводных элементах. Численное моделирование включало совместное решение трехмерного уравнения для распределения угла ориентации директора в объеме ячейки, полученного из условия минимума свободной энергии жидкокристаллического слоя и из уравнения Максвелла для распределения статического электрического поля между электродами [10].

Расчет пространственного распределения директора жидкого кристалла осуществлялся согласно уравнению [10]

$$K \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) - \frac{\Delta \epsilon_{RF} E_{0x}^2}{2} \sin 2\theta - \frac{\Delta \epsilon_{\text{opt}} |A_x|^2}{4} \sin 2\theta = 0,$$

где K – упругая постоянная Франка; $\Delta\epsilon_{RF} = \epsilon_{\parallel RF} - \epsilon_{\perp RF}$ – разность диэлектрических постоянных на частоте приложенного поля в направлении, параллельном и перпендикулярном директору жидкого кристалла; \vec{E}_0 – внешнее низкочастотное ($\nu \sim 1$ кГц) электрическое поле; θ – угол отклонения ЖК-молекул

от их первоначальной планарной ориентации; $A_x(z=0) = A_{x0} \exp\left[-\frac{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}{2r_0^2}\right]$ – амплитуда

светового пучка на торце ЖК-ячейки; $\Delta\epsilon_{opt} = \epsilon_{\parallel opt} - \epsilon_{\perp opt}$ – разность диэлектрических постоянных на оптической частоте в направлении, параллельном и перпендикулярном директору жидкого кристалла.

После нахождения пространственного распределения директора ЖК-слоя рассчитывается индуцированное изменение показателя преломления Δn по формуле

$$\Delta n = (n_{eff} - n_o) = \frac{n_e \cdot n_o}{\sqrt{n_o^2 \cdot \sin^2 \theta(x, y) + n_e^2 \cdot \cos^2 \theta(x, y)}} - n_o,$$

где $n_o = 1,52$; $n_e = 1,68$.

Результаты рассчитанных пространственных структур показателя преломления для различных значений приложенного напряжения представлены на рис. 5, а (см. цв. вклейку). Расчеты проводились для ЖК-волновода, содержащего структурированный электрод на подложке (см. цв. вклейку, рис. 2, а). Ширина уединенного электрода полагалась равной 10 мкм, толщина ячейки составляла 20 мкм, что соответствовало условиям эксперимента. Проведенные расчеты показали, что в ЖК-слое формируется волноводное распределение показателя преломления. Пространственная конфигурация индуцированного волновода и глубина модуляции определяются значениями приложенного напряжения и толщины ЖК-ячейки. При этом конфигурация распределения показателя преломления жидкого кристалла в поперечном сечении слоя при приложении внешнего поля соответствует показателю преломления градиентного волновода.

Для определения ЖК-волноводной структуры были проведены расчеты постоянных распространения и поперечного распределения полей направляемых мод в волноводных ЖК-структурах при различных значениях управляющего напряжения и толщины ЖК-слоя. Для расчета применялся алгоритм на базе метода линий [11]. Пространственное распределение электрического поля светового пучка показано на рис. 5, б (см. цв. вклейку).

Без внешнего управляющего напряжения ($U = 0$ В) (см. цв. вклейку, рис. 2, б) волноводность отсутствует и вводимый пучок рассеивается при распространении в ЖК-слое. При напряжении $U = 1,2$ В наблюдается слабая волноводность (волноводный показатель преломления моды $n_b = 1,4901$), поле направляемой моды слабо сконцентрировано и практически распределено по всей ячейке. При этом наблюдаются большие потери на локализацию (коэффициент потерь $\alpha = 0,214$ дБ/м). Мощность направляемой моды быстро убывает. При напряжении $U = 1,2$ В отмечается средняя волноводность. Поле моды имеет четкую область локализации, которая, однако, сравнительно широкая, т. е. локализация поля средняя ($n_b = 1,4919$). Потери на локализацию $\alpha = 0,0015$ дБ/м. Мода заметно ослабляется. При напряжении $U = 3,5$ В и больше наблюдается хорошая волноводность (n_b равен 1,5064; 1,5293 и 1,5515 соответственно). Потери на локализацию пренебрежимо малы: $\alpha = 0,0002$ дБ/м для напряжения 3,5 В, и еще меньше они для 5 и 7 В. Световой пучок устойчиво распространяется вдоль волноводной структуры. При этом максимальная (пиковая) амплитуда моды в 3,0; 6,0 и 6,5 раза превышает амплитуду моды при напряжении $U = 1,2$ В соответственно (см. цв. вклейку, цветовые полосы на рис. 5, б).

Таким образом, в настоящей работе предложены методы создания ЖК-волноводов с управляемой топологией анизотропии и реализован режим волноводного распространения линейно-поляризованного света в таких структурах. Теоретически и экспериментально исследованы условия возбуждения режима волноводного распространения излучения в зависимости от управляющего напряжения на ЖК-элементе. Проведенные исследования демонстрируют возможность создания портативных ЖК-устройств с поляризационно-чувствительными волноводными каналами для пространственного управления световыми полями.

Библиографические ссылки

1. Maksimochkin A. G., Pasechnik S. V., Maksimochkin G. I., et al. Electrically controlled waveguide mode in LC layer for fiber optic applications // Opt. Commun. 2010. Vol. 283. P. 3136–3141.
2. Shenoy M. R., Sharma M., Sinda A. An electrically controlled nematic liquid crystal core waveguide with a low switching threshold // J. Lightwave Technol. 2015. Vol. 33. P. 1948–1953.

3. Мельникова Е. А., Кабанова О. С. Поляризационно-чувствительные волноводные каналы в нематическом жидком кристалле // Вестн. БГУ. Сер. 1, Физика. Математика. Информатика. 2016. № 2. С. 48–51.
4. Melnikova E. A., Tolstik A. L., Rushnova I. I., et al. Electrically controlled spatial-polarization switch based on patterned photoalignment of nematic liquid crystals // *Appl. Opt.* 2016. Vol. 55, № 23. P. 6491–6495.
5. Maksimochkin A. G., Pasechnik S. V., Tsvetkov V. A., et al. Electrically controlled switching of light beams in the plane of liquid crystal layer // *Opt. Commun.* 2007. Vol. 270. P. 273–279.
6. Chigrinov V. G. Liquid Crystal applications in photonics // *Front. Optoelectron.* 2010. Vol. 3, issue 1. P. 103–107.
7. Komar A. A., Tolstik A. L., Melnikova E. A., et al. Optical switch based on the electrically controlled liquid crystal interface // *Appl. Opt.* 2015. Vol. 54, № 16. P. 5130–5135.
8. Могильный В. В., Станкевич А. И., Трофимова А. В. Ориентация жидкокристаллического мономера полимерами с бензальдегидными группами // Вестн. БГУ. Сер. 1, Физика. Математика. Информатика. 2014. № 2. С. 17–22.
9. Mahilny U., Trofimova A., Stankevich A., et al. New photocrosslinking polymeric materials for liquid crystal photoalignment // *Nonlinear Phenom. in complex syst.* 2013. Vol. 16, № 1. P. 79–85.
10. Assanto G., Fratalocchi A., Pecceanti M. Spatial solitons in nematic liquid crystals: from bulk to discrete // *Opt. Express.* 2007. Vol. 15, № 8. P. 5248–5259.
11. Muravsky A., Murauski A., Chigrinov V., et al. Integrated liquid crystal waveguide in polarization maintaining regime // *Proc. ICTON'2007* (Rome, 1–5 July, 2007). Rome, 2007. Vol. 2. P. 74–79.

References

1. Maksimochkin A. G., Pasechnik S. V., Maksimochkin G. I., et al. Electrically controlled waveguide mode in LC layer for fiber optic applications. *Opt. Commun.* 2010. Vol. 283. P. 3136–3141.
2. Shenoy M. R., Sharma M., Sinda A. An electrically controlled nematic liquid crystal core waveguide with a low switching threshold. *J. Lightwave Technol.* 2015. Vol. 33. P. 1948–1953.
3. Melnikova E. A., Kabanova O. S. Polarization-sensitive waveguide channels in nematic liquid crystals. *Vestnik BGU. Ser. 1, Fiz. Mat. Inform.* 2016. No. 2. P. 48–51 (in Russ.).
4. Melnikova E. A., Tolstik A. L., Rushnova I. I., et al. Electrically controlled spatial-polarization switch based on patterned photoalignment of nematic liquid crystals. *Appl. Opt.* 2016. Vol. 55, No. 23. P. 6491–6495.
5. Maksimochkin A. G., Pasechnik S. V., Tsvetkov V. A., et al. Electrically controlled switching of light beams in the plane of liquid crystal layer. *Opt. Commun.* 2007. Vol. 270. P. 273–279.
6. Chigrinov V. G. Liquid Crystal applications in photonics. *Front. Optoelectron.* 2010. Vol. 3, issue 1. P. 103–107.
7. Komar A. A., Tolstik A. L., Melnikova E. A., et al. Optical switch based on the electrically controlled liquid crystal interface. *Appl. Opt.* 2015. Vol. 54, No. 16. P. 5130–5135.
8. Mahilny U. V., Stankevich A. I., Trofimova A. V. Alignment of liquid crystalline monomer by polymers with benzaldehyde groups. *Vestnik BGU. Ser. 1, Fiz. Mat. Inform.* 2014. No. 2. P. 17–22 (in Russ.).
9. Mahilny U., Trofimova A., Stankevich A., et al. New photocrosslinking polymeric materials for liquid crystal photoalignment. *Nonlinear Phenom. in complex syst.* 2013. Vol. 16, No. 1. P. 79–85.
10. Assanto G., Fratalocchi A., Pecceanti M. Spatial solitons in nematic liquid crystals: from bulk to discrete. *Opt. Express.* 2007. Vol. 15, No. 8. P. 5248–5259.
11. Muravsky A., Murauski A., Chigrinov V., et al. Integrated liquid crystal waveguide in polarization maintaining regime. *Proc. ICTON'2007* (Rome, 1–5 July, 2007). Rome, 2007. Vol. 2. P. 74–79.

Статья поступила в редколлегию 04.11.2016.
Received by editorial board 04.11.2016.