

УДК 541.65.654

А. Н. Анисимов¹, Д. С. Шкирмантова¹, С. А. Булгакова¹, С. А. Рябов¹, М. М. Джонс²

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И РЕГУЛЯТОРОВ МОЛЕКУЛЯРНО-МАССОВЫХ И СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК (МЕТ)АКРИЛОВОГО СОПОЛИМЕРА НА ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА PDLC-ПЛЕНОК

¹Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского,
пр. Гагарина, д. 23, корп. 5, 603950 Нижний Новгород, Россия

²ООО «Репер-НН», ул. Баррикад, д. 1, 603003 Нижний Новгород, Россия.

E-mail: anisimovantonnnov@mail.ru

Методом фотополимеризации (мет)акриловых мономеров с растворенным в них жидким кристаллом (ЖК) получены полимерные пленки с диспергированными каплями ЖК (PDLC). Исследованы PDLC-системы на основе сополимеров 2-этилгексилакрилат (ЭГА) – метакриловая кислота (МАК) и ЭГА – акриловая кислота (АК) и выявлены оптимальные концентрации кислот в полимерных матрицах, при которых наблюдаются минимальные значения управляющих напряжений. На примере сополимера ЭГА-МАК определена оптимальная рабочая толщина пленок (35–40 мкм), при которой PDLC обладают наилучшими электрооптическими свойствами. Исследовано влияние регуляторов полимерной матрицы додецилмеркаптана и диметакрилатэтиленгликоля (ДДМ и ДМЭГ) как отдельно, так и совместно, на морфологию капель и электрооптические свойства системы. Получены микрофотографии морфологии модифицированных пленок. Установлено, что максимальная эффективность электрооптических свойств достигается при совместном использовании модификаторов полимерной матрицы в соотношении [ДДМ]/[ДМЭГ] = 1. Показано, что в модифицированных структурах достигается снижение пороговых полей с 5,2 до 2,6 В/мкм.

Ключевые слова: полимер-жидкокристаллический композит, фотополимеризация, электрооптические свойства, додецилмеркаптан, диметакрилатэтиленгликоля, 2-этилгексилакрилат, метакриловая кислота, акриловая кислота.

DOI: 10.18083/LCAppl.2016.1.42

A. N. Anisimov¹, D. S. Shkirmantova¹, S. A. Bulgakova¹, S. A. Ryabov¹, M. M. Jones²

EFFECT OF COMPOSITION AND REGULATORS OF THE MOLECULAR WEIGHT AND STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF (METH)ACRYLIC COPOLYMER ON THE ELECTRO-OPTICAL PROPERTIES OF THE PDLC FILMS

¹Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod – National Research University,
23 Prospekt Gagarina (Gagarin Avenue), Bld. 5, Nizhny Novgorod, 603950, Russia.

²Reper ltd., 1 Barrikad St., Nizhny Novgorod, 603003, Russia.

E-mail: anisimovantonnnov@mail.ru

The polymer-dispersed liquid crystal (PDLC) films have been prepared by method of acrylic monomers photopolymerization with dissolved liquid crystal. PDLC systems based on ethylhexyl acrylate (EHA) – methacrylic acid (MAA) and EHA – acrylic acid (AA) copolymers have been investigated. The optimal concentrations of acids in the polymer matrix in which there are minimum driving voltages have been identified. The optimum film thickness (35–40 microns) at which PDLC had the best electro-optical properties was

determined on example of the EHA–MAA copolymer. Influence the polymer matrix modifiers such as dodecyl mercaptan (DDM) and ethylene glycol dimethacrylate (EGDM), both separately and together, on the morphology of the droplets and electro-optical system properties has been investigated. Micrographs of the modified films morphology were obtained. It was found that the maximum efficiency of the electro-optical properties is achieved when modifiers of the polymer matrix are used in conjunction in the ratio $[DDM]/[EGDM] = 1$. It is shown that in the modified structures a reduction of the threshold fields from 5,2 to 2,6 V/μm is achieved.

Key words: polymer-liquid crystal composite, photopolymerization, electro-optical properties, dodecyl mercaptan, ethylene glycol dimethacrylate, 2-ethylhexyl acrylate, methacrylic acid, acrylic acid.

Введение

С прогрессивным развитием современной науки и техники заметно возрастает потребность в функциональных полимерах. К подобному классу материалов относятся полимерные пленки с диспергированными в них каплями жидкого кристалла, так называемые PDLC-системы (*Polymer dispersed liquid crystal*). Они находят практическое применение в различных сферах оптоэлектроники, например при создании дисплеев, гибких экранов, телевизионных проекционных систем, для получения смарт-стекол, LCD-мониторов [1]. Такие функциональные материалы представляют собой полимерную матрицу с хаотично расположенными в ней каплями жидкого кристалла (ЖК), заключенную между двумя параллельными прозрачными электродами.

Принцип работы PDLC-систем основан на эффекте светорассеяния, регулируемого электрическим полем. Вследствие изотропии полимер обладает единственным показателем преломления n_p , а ЖК является оптически анизотропным веществом и имеет два показателя преломления (обыкновенного n_o и необыкновенного n_e луча). Компоненты жидкокристаллических композитов подбирают таким образом, чтобы один из показателей преломления ЖК был близок к показателю преломления полимера. В отсутствие электрического поля (в выключенном состоянии) директора капель ЖК имеют произвольные направления и показатель преломления ЖК n_e значительно отличается от показателя преломления полимера n_p . В результате световая волна эффективно рассеивается и светопропускание PDLC-пленки близко к нулю. Если на систему действует внешнее электрическое поле (включенное состояние), то директора капель ЖК ориентируются преимущественно вдоль поля, падающий свет не рассеивается и пленка стано-

вится оптически прозрачной. Светопропускание будет тем выше, чем меньше различие между показателями преломления полимера и ЖК ($n_p \approx n_o$) [2].

Для эффективной работы PDLC-систем необходимо оптимизировать электрооптические свойства, а именно, достичь максимального контраста, малых управляющих напряжений и минимального эффекта памяти. Это можно получить путем регулирования морфологии капель ЖК, состава, структуры и молекулярной массы полимерной матрицы, а также условий получения пленок. Множество работ посвящено решению поставленных задач и установлено, что полимерная матрица играет ключевую роль при разработке PDLC. Так, в работе [3] изучено влияние длины алкильной цепи (мет)акрилатных мономеров на электрооптические свойства и показано, что увеличение длины алкильного радикала приводит к снижению управляющих напряжений, контраста, времени включения и увеличению времени выключения полученных пленок. Авторы [4] нашли, что использование фторзамещенных акриловых мономеров способствует снижению пропускания пленок во включенном и выключенном состоянии, управляющих напряжений и эффекта памяти.

Целью данной работы было исследование влияния состава сополимера и регуляторов молекулярно-массовых характеристик на морфологию капель ЖК и электрооптические свойства PDLC-пленок.

Исходными компонентами для получения PDLC-пленок были 2-этилгексилакрилат (ЭГА), акриловая кислота (АК), метакриловая кислота (МАК), жидкий кристалл E7 (*Merck*) и фотоинициатор 2,2-диметокси-2-фенилацетофенон (*Irgacure 651*). В качестве добавок, регулирующих молекулярную массу (ММ) и структуру полимерной матрицы, были использованы такие модификаторы, как передатчик цепи додецилмеркаптан (ДДМ) и сшивающий агент диметакрилатэтиленгликоля (ДМЭГ).

Эксперимент

ЭГА, МАК, АК, ДДМ и ДМЭГ очищали от примесей вакуумной перегонкой в присутствии ингибитора. АК и МАК предварительно трижды перемораживали для освобождения от воды, а ЭГА и ДМЭГ сушили над прокаленным CaCl_2 . Фотоинициатор (ФИ) 2,2-диметокси-2-фенил-ацетофенон использовали без дополнительной очистки. Жидкий кристалл E7 (*Merck*), представляющий собой смесь цианобифенилов, который имеет нематическую фазу в широком интервале температур от $-62\text{ }^\circ\text{C}$ до $61\text{ }^\circ\text{C}$, был приобретен по каталогу *Aldrich* и не подвергался очистке.

Ячейки для исследования электрооптических свойств получали путем фотополимеризации смеси мономеров с ЖК (30 мас. %) и ФИ (2 мас. %) с различным содержанием передатчика цепи ДДМ и сшивающего агента ДМЭГ. В системах ЭГА–АК без добавок содержание ЖК было 40 мас. %. Компоненты взвешивали на электронных весах WAS 220/C/2 с точностью 0,0001 г. Гомогенные смеси помещали между стеклами со специально нанесенным токопроводящим внутренним ИТО-слоем ($\Omega \leq 30\text{ Ом/см}^2$). Толщину PDLC-пленок регулировали с помощью микрочастиц SiO_2 с размерами 40–70 мкм и лавсановой пленкой толщиной (d) до 140 мкм. Собранную ячейку облучали при комнатной температуре УФ-излучением коротковолновой светодиодной лампы в течение 20–30 минут.

Морфологию композитных пленок изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа *TESCAN Vega II*. Параметры фотографирования одинаковы для всех фотографий.

Электрооптические характеристики полученных образцов снимали на установке, состоящей из модифицированного генератора стандартных сигналов и фотодетектора. При измерении величины пропускания света от приложенного напряжения на образец с генератора подавалось переменное напряжение с частотой 5 кГц, величина которого плавно менялась со временем и контролировалась по мультиметру.

Измерения проводились в прямом и обратном направлении: с повышением напряжения (кривая включения) и с понижением напряжения (кривая выключения). С учетом толщины слоя ячейки проводили перерасчет напряжения в напряженность по формуле (1):

$$E = \frac{V}{d}, \quad (1)$$

где V – напряжение, подаваемое на образец B ; d – толщина слоя ячейки, мкм.

По полученным данным строили вольт-контрастные кривые, представляющие собой зависимость величины светопропускания T от напряженности E . Из кривых получали значения светопропускания включения $T_{\text{вкл}}$ (просветление образца на 90 %) и выключения $T_{\text{выкл}}$ (просветление образца на 10 %) (формулы 2 и 3, соответственно):

$$T_{\text{вкл}} = (T_{\text{max}} - T_{\text{min}}) \cdot 0,9 + T_{\text{min}}, \quad (2)$$

$$T_{\text{выкл}} = (T_{\text{max}} - T_{\text{min}}) \cdot 0,1 + T_{\text{min}}, \quad (3)$$

где T_{max} – максимальное пропускание во включенном состоянии, T_{min} – минимальное пропускание в выключенном состоянии.

Затем вычисляли напряженность включения $E_{\text{оп}}$ и выключения $E_{\text{офф}}$ путем проецирования $T_{\text{вкл}}$ и $T_{\text{выкл}}$ на кривую. Кроме того, определяли контраст образцов по формуле (4):

$$K = \frac{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}}{100}. \quad (4)$$

Результаты и их обсуждение

Электрооптические свойства полимер-жидкокристаллических композитов были изучены на примере систем ЭГА–МАК и ЭГА–АК с различным содержанием кислот в сополимерах. Ранее нами было показано [5], что уже небольшие концентрации кислот в сополимерах не только стабилизируют структуру PDLC, но и приводят к снижению размеров капель ЖК. При этом было установлено [6], что в присутствии МАК образуются капли более крупного размера, чем в системе с участием АК, что, по нашему мнению, связано с реакционной способностью сомономеров, влияющей на мгновенный состав сополимера и мономерной смеси. Данный вывод был получен при построении кривых состава сополимеров ЭГА–МАК и ЭГА–АК, из которых следовало, что сополимеризация ЭГА–АК является практически азеотропной, а сополимер ЭГА–МАК во всей области составов мономерных смесей обогащен звеньями МАК. Это означает, что состав мономерной смеси ЭГА–АК в течение всего процесса фотополимеризации не изменяется, равно как и растворимость ЖК в ней.

В случае системы ЭГА–МАК состав мономерной смеси на начальной и глубокой конверсии будет существенно различаться, так что, чем выше конверсия, тем больше содержание ЭГА в мономерной смеси. Поскольку жидкий кристалл E7 хорошо растворяется в ЭГА [5], то в

сополимере ЭГА–МАК и образуются капли ЖК более крупного размера, чем в сополимере ЭГА–АК.

Вольтконтрастные кривые PDLC-систем, из которых были рассчитаны напряженности E_{on} и E_{off} , представлены на рис. 1 и 2.

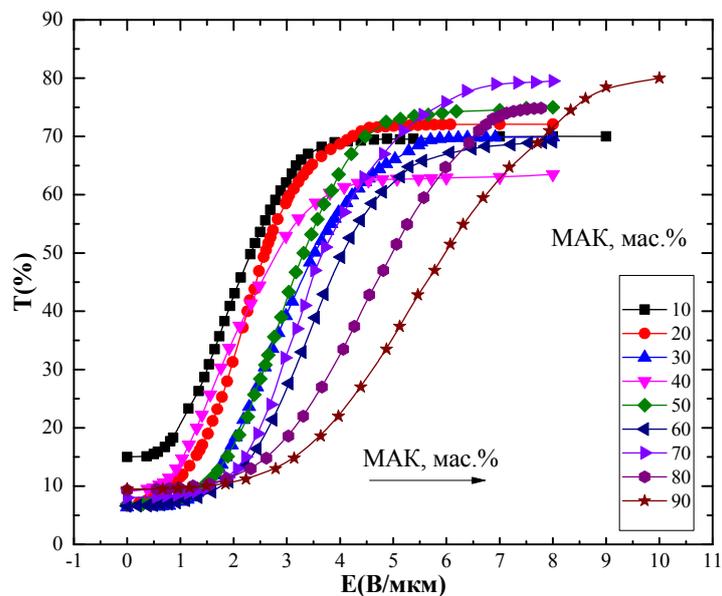


Рис. 1. Зависимость светопропускания PDLC-пленок от напряженности поля для композиций ЭГА–МАК с различным содержанием МАК (мас. %)

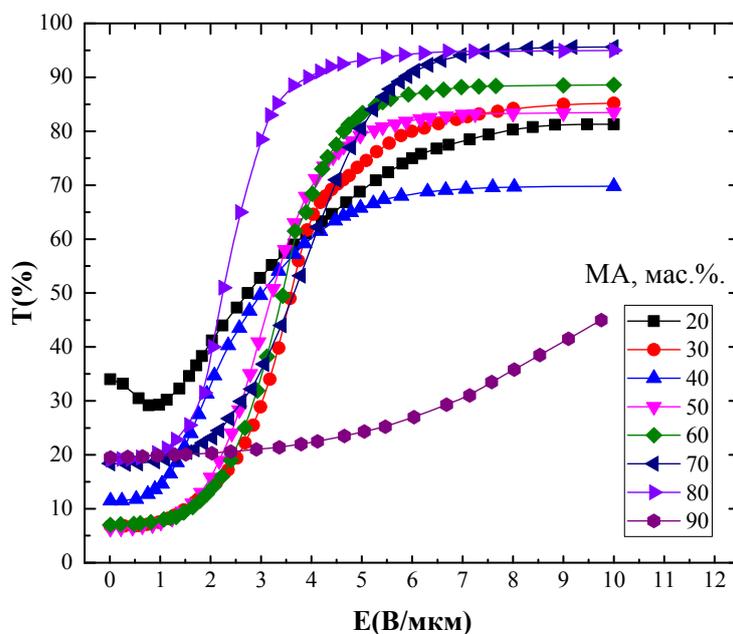


Рис. 2. Зависимость светопропускания PDLC-пленок от напряженности поля для композиций ЭГА–АК с различным содержанием АК (мас. %)

Зависимости этих величин от состава исходных фотополимеризующихся смесей отражены на рис. 3, из которого следует, что для обеих систем характер зависимостей аналогичен.

Минимальные значения напряженностей наблюдаются в интервале концентраций кислот 20–50 %, после чего начинается подъем напряжений PDLC-систем.

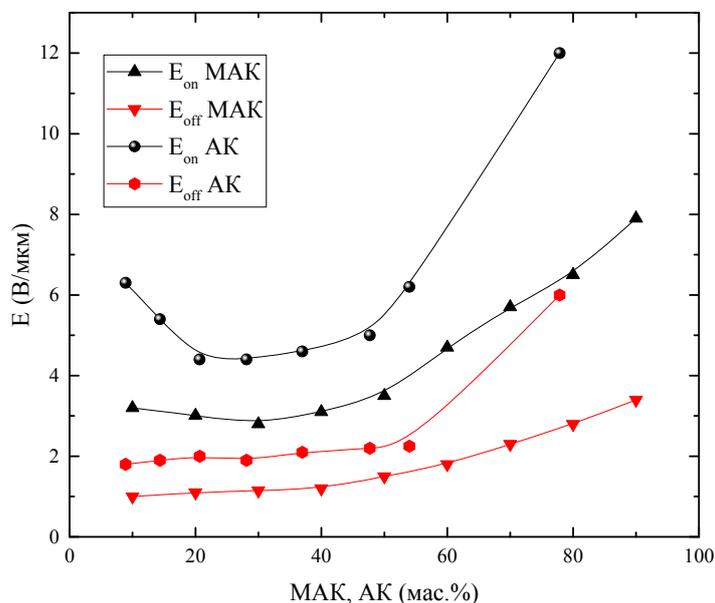


Рис. 3. Зависимость напряженности поля включения (E_{on}) и выключения (E_{off}) PDLC-пленок от состава мономерных смесей ЭГА-АК и ЭГА-МАК при 30 мас. % E7

Это связано с повышением полярности полимерной матрицы и образованием большого числа водородных связей между CN-группами ЖК и COOH-группами кислот, затрудняющих ориентацию молекул ЖК вдоль приложенного поля. С увеличением концентрации кислоты система становится «жестче» и распределение капель ЖК по размеру увеличивается.

Известно, что морфология PDLC-материалов серьезно влияет на их оптические свойства [7]: чем ближе размер капель к длине волны падающего света и выше плотность, тем ниже пропускание в выключенном состоянии. Управляющие напряжения и времена отклика также близко связаны с размером капель и толщиной пленки (уравнения 5 и 6) [8], т. е. эта характеристика играет фундаментальную роль в функционировании PDLC систем.

Уменьшение размера капли приводит к повышению поверхностной энергии сцепления и возрастанию напряжения включения. После выключения поля эта же энергия будет возвращать каплю обратно.

$$V_{on} \sim \frac{d}{R} (L^2 - 1) \left(\frac{4\pi k}{\Delta\epsilon} \right)^{1/2}, \quad (5)$$

$$\tau_{off} \sim \frac{\gamma R^2}{k(L^2 - 1)}, \quad (6)$$

где R – средний радиус капли ЖК, L – эллиптичность капли, R_1 и R_2 – больший и меньший радиусы эллиптической капли, d – толщина пленки PDLC, γ – вязкость, k и $\Delta\epsilon$ – упругая постоянная и диэлектрическая анизотропия жидкого кристалла, соответственно.

Для практических целей была поставлена задача определения оптимальной толщины пленки на примере сополимера ЭГА-МАК состава 50 : 50 мас. %. Зависимости контраста и пропускания пленок в выключенном состоянии от их толщины приведены на рис. 4, из которого следует, что при увеличении толщины пленки рассеивание света пленкой в выключенном состоянии возрастает. Это связано с тем, что свет проходит через большее количество капель ЖК по всей толщине пленки в полном соответствии с формулой (5). При этом с увеличением толщины уменьшается максимальное просветление пленки, что крайне нежелательно.

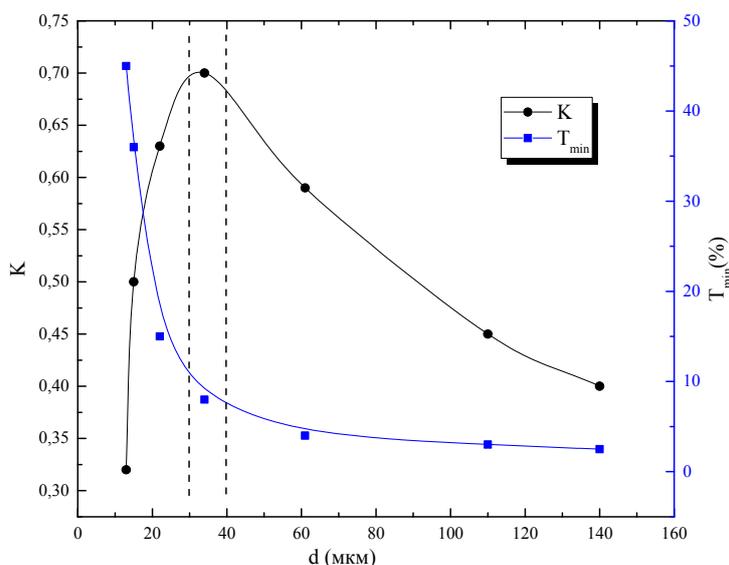


Рис. 4. Зависимость контраста K и пропускания T пленок ЭГА–МАК в выключенном состоянии от толщины d

Оптимальная толщина пленки выделена пунктиром и составляет 35–40 мкм.

Как показано в [9, 10], важным параметром, определяющим свойства PDLC, являются молекулярно-массовые характеристики полимерной матрицы. Так, в [9] показано, что добавление передатчика цепи ДДМ при фотополимеризации метил-акрилата с 40 % нематического ЖК способствует снижению порогового напряжения образующейся

пленки PDLC. Авторы [11, 12] объясняют это тем, что в низкомолекулярной полимерной матрице облегчается коалесценция капель из-за ослабления сил взаимодействия между полимерной матрицей и ЖК, которые управляют ориентацией и переориентацией ЖК при приложении электрического поля.

Результаты влияния ДДМ на управляющие напряжения PDLC-пленок представлены на рис. 5.

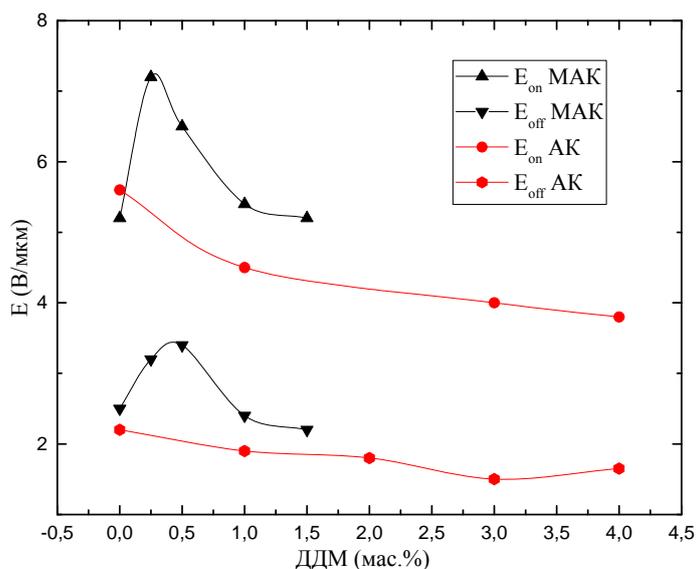


Рис. 5. Зависимость напряженности поля включения (E_{on}) и выключения (E_{off}) PDLC-пленок от массовой доли ДДМ в системах систем ЭГА–АК и ЭГА–МАК при 30 мас. % E7

Видно, что в целом в поведении систем наблюдается тенденция снижения напряжений при введении достаточно высоких концентраций ДДМ (1 мас. % и более). Теоретически это должно быть связано с увеличением размеров капель ЖК. Однако, как было показано нами ранее [6], введение ДДМ приводит к уменьшению размеров капель ЖК в

полимерной матрице ЭГА–АК с 1 до 0,6–0,8 мкм и снижению полидисперсности частиц. Аналогичную картину мы наблюдаем и для системы ЭГА–МАК. Как следует из данных, полученных методом сканирующей электронной микроскопии (рис. 6), с увеличением концентрации ДДМ от 0 до 1 мас. % размер капель тоже уменьшается.

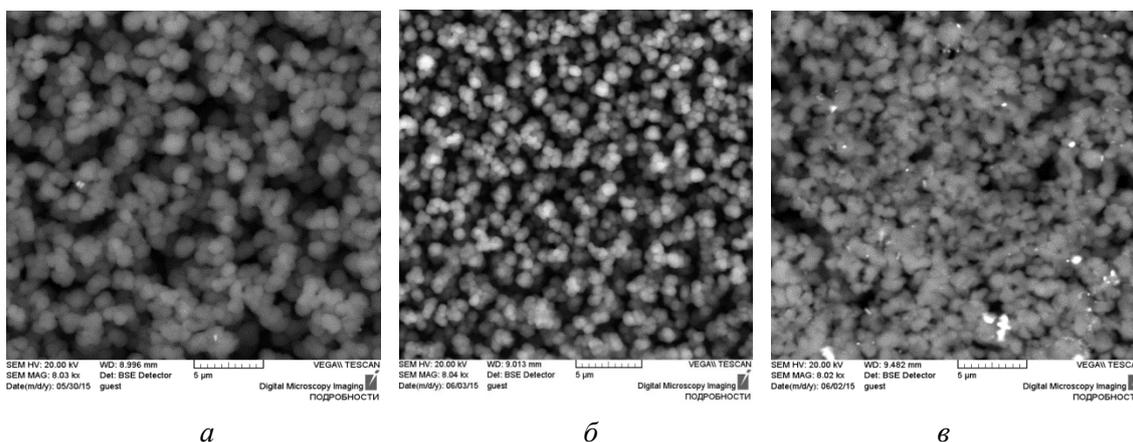


Рис. 6. Микрофотографии (СЭМ) PDLC-пленок на основе сополимера ЭГА–МАК без добавок (а), с содержанием ДДМ 0,25 (б) и 1 мас. % (в)

Уменьшение размеров капель ЖК в изученных системах АК(МАК)–ЭГА–ДДМ можно объяснить, если исходить из известных представлений [13], что тиолы, к которым относится ДДМ, не только снижают ММ сополимера, но и сужают молекулярно-массовое распределение, а также повышают композиционную однородность сополимеров с непредельными кислотами. Все это вместе взятое регулирует взаимодействие ЖК с макромолекулами сополимеров и обеспечивает

формирование капель меньших размеров.

В представленной работе нами было изучено влияние не только передатчика цепи ДДМ, но и сшивающего агента ДМЭГ, на морфологию капель жидкого кристалла и электрооптические свойства PDLC-пленок на двух разных системах – ЭГА–АК и ЭГА–МАК.

Аналогичное влияние на электрооптические свойства пленок оказывает сшивающий агент ДМЭГ (рис. 7).

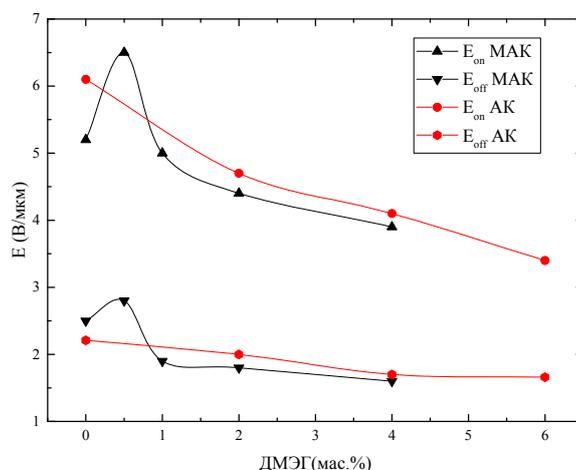


Рис. 7. Зависимость напряженности поля включения (E_{on}) и выключения (E_{off}) PDLC-пленок от содержания ДМЭГ в системах систем ЭГА–АК = 75:25 мас. % и ЭГА–МАК = 50:50 мас. % при 30 мас. % E7

Разница состоит лишь в том, что для системы ЭГА–МАК, как и в случае ДДМ, наблюдается отчетливая экстремальная зависимость, которая хорошо объясняется данными электронной микроскопии (рис. 8).

Видно, что в экстремальной точке 0,5 мас. % ДМЭГ капли ЖК имеют самые маленькие размеры, поэтому в этой точке наблюдаются и самые высокие

напряжения. При 1 мас. % ДМЭГ отчетливо видно, что капли ЖК становятся крупнее, это и влечет за собой снижение управляющих напряжений.

Известно [14–16], что совместное введение передатчика цепи и сшивающего агента в зависимости от их соотношения приводит к образованию разветвленного полимера либо сшитой пространственной сетки.

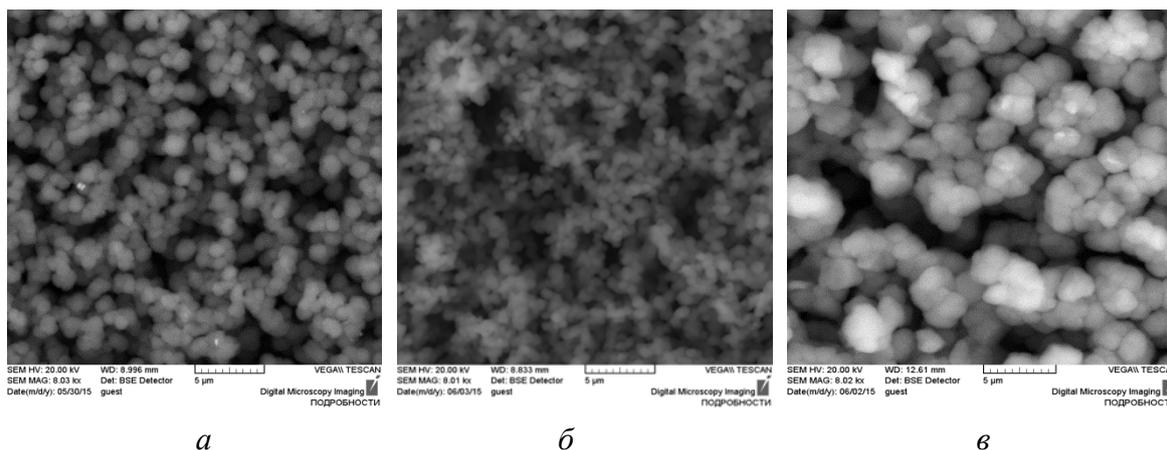


Рис. 8. Микрофотографии (СЭМ) PDLC-пленок на основе сополимера ЭГА–МАК без добавок (а), с содержанием ДМЭГ 0,5 (б) и 1 мас. % (в)

При этом передатчик цепи позволяет регулировать либо длину разветвлений, либо длину отрезков между узлами сетки. Поэтому в работе было исследовано совместное влияние добавок на электрооптические параметры

композиата на основе как ЭГА–АК, так и ЭГА–МАК. Результаты расчетов электрооптического отклика пленок с различным соотношением концентраций модификаторов представлены на рис. 9.

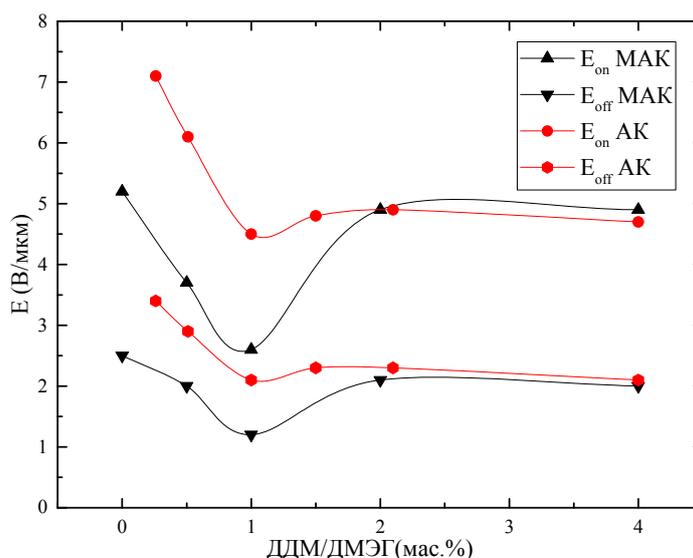


Рис. 9. Зависимость напряженности поля включения (E_{on}) и выключения (E_{off}) PDLC-пленок от соотношения массовой доли ДДМ/ДМЭГ в системах систем ЭГА–АК и ЭГА–МАК при 30 мас. % E7

Видно, что напряженности поля включения и выключения в обеих системах снижаются при совместном введении модификаторов, достигая минимума при соотношении ДДМ/ДМЭГ, равном 1. Как показали исследования методом сканирующей электронной микроскопии PDLC-пленок

на основе сополимера ЭГА–МАК, представленные на рис. 10, именно при таком соотношении регуляторов полимерной матрицы образуются капли ЖК больших размеров, для переориентации которых требуется приложить меньшее напряжение.

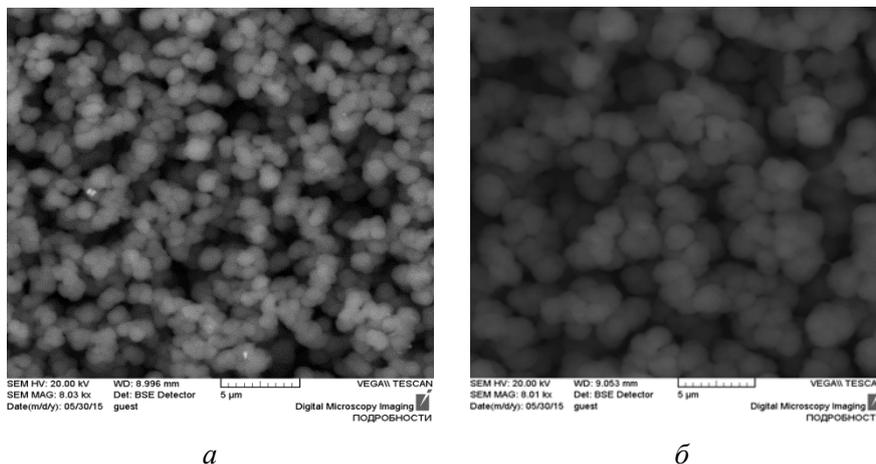


Рис. 10. Микрофотографии PDLC-пленок на основе сополимера ЭГА–МАК без добавок (а) и с содержанием регуляторов полимерной матрицы в соотношении [ДДМ]/[ДМЭГ] = 1 (б)

В таблице представлено подтверждение того, что при совместном использовании передатчика и сшивающего агента достигаются наилучшие

электрооптические свойства PDLC-пленок, а именно, низкие управляющие напряжения, чем при их индивидуальном влиянии на полимерную матрицу.

Сравнение основных электрооптических характеристик PDLC-пленок при разных способах модификации полимерной матрицы ЭГА–МАК

Электрооптические характеристики	Без добавок	ДДМ, 1 мас. %	ДМЭГ, 1 мас. %	[ДДМ]/[ДМЭГ] = 1
E_{on} , В/ мкм	5,2	5,4	4,7	2,6
E_{off} , В/ мкм	2,5	2,4	1,6	1,2

Выводы

Выявлены оптимальные концентрации (мет)акриловых кислот (20–50 %) в полимерных матрицах ЭГА–МАК и ЭГА–АК PDLC-систем, при которых наблюдаются минимальные значения управляющих напряжений. На примере сополимера ЭГА–МАК определена оптимальная рабочая толщина пленок (35–40 мкм), при которой PDLC

обладают наилучшими электрооптическими свойствами.

Показано, что для улучшения электрооптических свойств PDLC-пленок можно использовать регуляторы полимерной матрицы (ДДМ и ДМЭГ) в концентрациях 1 мас. %. Наилучшие электрооптические свойства наблюдаются при совместном использовании модификаторов в соотношении [ДДМ]/[ДМЭГ] = 1.

Список литературы / References

1. Carter S.A., LeGrange J.D., White W., Boo J., Wiltzius P. Dependence of the morphology of polymer dispersed liquid crystals on the UV polymerization process. *J. Appl. Phys.*, 1997, **81** (9), 5992–5999. DOI: 10.1063/1.364447.
2. Zumer S. Light scattering from nematic droplets: Anomalous-diffraction approach. *Physical Review B*, 1988, **37** (10), 4006–4015.
3. Liu F., Cao H., Mao Q., Song P., Yang H. Effects of monomer structure on the morphology of polymer networks and the electro-optical properties of polymer-dispersed liquid crystal films. *Liquid Crystals*, 2012, **39** (4), 419–424. DOI: 10.1080/02678292.2012.655257.
4. Джонс М. М., Булгакова С. А. Влияние 2,2,3,3-тетрафторпропил-2-фтор-акрилата на характеристики полимерных пленок с электрорегулируемой прозрачностью // *Вестник ННГУ*. 2011. Т. 3, № 1. С. 116–119 [Dzhons M.M., Bulgakova S.A. Effect of 2,2,3,3-tetrafluoropropyl-2-fluoroacrylate on the characteristics of polymer films with electrically controlled transparency. *Vestnik NNGU = Vestnik of Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod*, 2011, **3** (1), 116–119 (in Russian)].
5. Машин А. И., Булгакова С. А., Chidichimo G., De Filpo G., Коробков А. В., Джонс М. М., Казанцева И. А., Нежданов А. В. Исследование влияния состава сополимера 2-этилгексилакрилата с метакриловой кислотой на электрооптические свойства пленок с диспергированным жидким кристаллом // *Вестник ННГУ*. 2006. Т. 1, № 9, С. 191–195 [Mashin A.I., Bulgakova S.A., Chidichimo G., De Filpo G., Korobkov A.V., Dzhons M.M., Kazantseva I.A., Nezhdanov A.V. Investigation of the copolymer composition 2-ethylhexylacrylate with methacrylic acid to the electro-optical properties of polymer-dispersed liquid crystal films. *Vestnik NNGU = Vestnik of Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod*, 2006, **1** (9), 191–195 (in Russian)].
6. Машин А. И., Булгакова С. А., Казанцева И. А., Каштанов Д. Е., Джонс М. М., Цепков Г. С., Коробков А. В., Нежданов А. В. Влияние состава полимерной матрицы на электрооптические свойства пленок с диспергированным жидким кристаллом // *ЖПХ*. 2008. Т. 81, № 8. С. 1370–1376 [Mashin A.I., Bulgakova S.A., Kazantseva I.A., Kashtanov D.E., Dzhons M.M., Tsepkov G.S., Korobkov A.V., Nezhdanov A.V. Effect of the composition polymer matrix on the electro-optical properties of PDLC films. *ZhPH = Russian Journal of Applied Chemistry*, 2008, **81** (8), 1370–1376 (in Russian)].
7. Jain S.C., Rout D.K. Electro-optic response of polymer dispersed liquid-crystal films. *J. Appl. Phys.* 1991, **70** (11), 6988–6992. DOI: 10.1063/1.349828.
8. Margerum J.D., Lackner A.M., Erdmann J.H., Sherman E. Addressing factors for polymer dispersed liquid crystal displays. *SPIE. Liquid - Crystal Devices and Materials*, 1991, **1455**, 27–38. DOI: 10.1117/12.44679.
9. He J., Yan B., Yu B., Wang S., Zeng Y., Wang Y. The effect of molecular weight of polymer matrix on properties of polymer-dispersed liquid crystals. *Europ. Polym. J.*, 2007, **43** (6), 2745–2749. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2007.03.030.
10. He J., Yan B., Wang X., Yu B., Wang Y. A novel polymer dispersed liquid crystal film prepared by reversible addition fragmentation chain transfer polymerization. *Europ. Polym. J.*, 2007, **43** (9), 4037–4042. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2007.06.032.
11. Patnaik S.S., Pachter R. Anchoring characteristics and interfacial interactions in a polymer dispersed liquid crystal: a molecular dynamics study. *Polymer*, 1999, **40** (23), 6507–6619. DOI: 10.1016/S0032-3861(98)00851-9.
12. Kawatsuki N., Ono H. Synthesis of poly(benzylmethacrylate)-co-perfluorooctylethylmethacrylate) and electrooptical properties of the result at polymer liquid crystal composite films. *J. Appl. Polym. Sci.*, 1995, **55** (6), 911–918. DOI: 10.1002/app.1995.070550609.
13. Семчиков Ю. Д., Князева Т. Е., Смирнова Л. А., Рябов С. А., Славницкая Н. Н., Модева Ш. И., Булгакова С. А., Шерстяных В. И. О композиционной неоднородности сополимеров малой конверсии // *Высокомолекулярная химия А*. 1987. Т. 29, № 12. 2625–2629 [Semchikov Yu.D., Knyazeva T.Ye., Smirnova L.A., Ryabov S.A., Slavnitskaya N.N., Modeva Sh.I., Bulgakova S.A., Sherstyanykh V.I. Compositional inhomogeneity of low conversion polymers. *Polymer Science U.S.S.R.*, 1987, **29** (12), 2890–2896. DOI: 10.1016/0032-3950(87)90211-5].
14. Isaure F., Cormack P.A.G., Sherrington D.C. Synthesis of branched poly(methyl methacrylate)s: Effect of the branching comonomer structure. *Macromolecules*, 2004, **37** (6), 2096–2105. DOI: 10.1021/ma030445i.
15. Graham S., Cormack P.A.G., Sherrington D.C. One-pot synthesis of branched poly(methacrylic acid)s and suppression of the rheological “polyelectrolyte effect”. *Macromolecules*, 2005, **38** (1), 86–90. DOI: 10.1021/ma048651t.
16. Costello P.A., Martin I.K., Slark A.T., Sherrington D.C., Titterton A. Branched methacrylate copolymers from multifunctional monomers: chemical composition and physical architecture distributions. *Polymer*, 2002, **43** (2), 245–254. DOI: 10.1016/S0032-3861(01)00581-X.

Поступила в редакцию 16.11.2015 г.

Received 16 November, 2015