

05; 06

© 1991 г.

ПОКАЗАТЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫХ ТРАНСПАРАНТОВ

В. В. Беллев, В. Г. Чигринов, Н. Ф. Ковтонюк, А. Б. Кузнецов

Получено выражение для показателя эффективности жидкокристаллических материалов для оптически управляемых транспарантов, учитывающее зависимость деформации ЖК от напряжения смещения. Физический смысл показателя эффективности — это регистрируемая фотоприемником энергия считывающего излучения при импульсной записи входного изображения. Зависимость показателя от напряжения смещения имеет максимум, который характеризует динамическую чувствительность ЖК к внешнему воздействию. Дана оценка эффективности различных ЖК веществ и смесей для применения в оптически управляемых транспарантах.

Оптически управляемые транспаранты (ОУТ), или пространственно-временные модуляторы света, являются основными элементами систем оптической обработки изображений [1-5]. Среди них жидкокристаллические ОУТ выделяются модуляционными характеристиками, низкими управляющими напряжениями, широким диапазоном рабочих температур, многочисленными функциональными возможностями. В настоящее время в ОУТ применяются обычные материалы для твист-эффекта. Направленная разработка жидкокристаллических материалов для ОУТ с целью повышения контраста выходного изображения или интенсивности пространственного спектра анализируемого изображения не проводилась. При этом следует сказать, что электрооптика твист-эффекта, имея некоторые общие свойства с электрооптикой используемого в ОУТ S-эффекта, все же существенно отличается от него [6]. Развитию разработок ЖКМ для ОУТ препятствовало отсутствие четких критериев, характеризующих их способность формировать изображение при заданном режиме управления. В [7] предложено использовать для оценки того или иного ЖКМ для ОУТ число

$$M = K_{11} (\Delta n)^2 / \gamma_1, \quad (1)$$

характеризующее скорость изменения на 1π фазовой задержки $\Delta\Phi$ света, проходящего через планарно ориентированный слой ЖКМ (K_{11} — коэффициент упругости, $n=n_e - n_o$ — двулучепреломление, γ_1 — вращательная вязкость).

Имея очень удобный вид, коэффициент M не совсем точно описывает реальное изменение фазовой задержки при изменении режима управления ОУТ. Для оценки качества изображения на выходе ОУТ важна не величина фазовой задержки $\Delta\Phi$ между необыкновенным и обыкновенным лучами, которая используется при выводе выражения для M , а разность фаз $\delta\Phi$ между необыкновенными лучами в разных точках слоя ЖК, возникающая вследствие неоднородной по апертуре освещенности фоточувствительной части ОУТ на входе.

Целью настоящей работы является оценка эффективности различных жидкокристаллических веществ и их смесей для ОУТ, а также уточнение вида показателя эффективности с учетом деформации слоя ЖК.

Согласно [7], формула для показателя M выводится при подстановке в выражение для времени переориентации директора

$$\tau = \gamma_1 L^2 / \pi^2 K_{11} \quad (2)$$

значения толщины слоя ЖК L , получающегося из условия

$$\Delta\Phi = 2\pi L \Delta n / \lambda = \pi, \quad (3)$$

где λ — длина волны считывающего света.

Следует отметить, что (2) соответствует малой деформации директора, а (3) — полной переориентации директора и вывод показателя M таким способом является методически неверным. При работе ОУТ максимальная величина контраста в выходном изображении или интенсивности пространственного спектра получается при разности фаз $\delta\Phi$ в местах, соответствующих большей и меньшей засветке фотопроводника, равной 1π (величины $\Delta\Phi$ и $\delta\Phi$ отличаются на множитель, показывающий, какая часть напряжения питания ОУТ приходится на слой ЖК [8]). Поэтому качество изображения или его пространственного спектра на выходе ОУТ зависит не от полной величины фазовой задержки или времени свободной релаксации директора, определяемых выражениями (2) и (3), а от времени τ_π и напряжения ΔU_π , при которых происходит изменение фазовой задержки на 1π . Рассмотрим, как изменяются величины τ_π и ΔU_π при $U_{\text{ЖК}} \geq U_\pi$ и при произвольной величине напряжения смещения $U_{\text{ЖК}}$.

В первом случае зависимость фазовой задержки от напряжения смещения описывается полученным в [9] соотношением

$$\delta = (\Delta\Phi_{\text{макс}} - \Delta\Phi(U_{\text{ЖК}})) = \frac{2\pi L}{\lambda} \frac{n_e(n_e^2 - n_o^2)}{n_o^2} \left(\frac{K_{33}}{K_{11}} + \frac{\Delta\epsilon}{\epsilon_\perp} \right)^{-1} \frac{U_{\text{ЖК}} - U_\pi}{U_\pi}, \quad (4)$$

откуда из условия $\delta = \pi$ получаем

$$\frac{\Delta U_\pi}{U_\pi} = \frac{\lambda}{2L} \frac{n_o^2}{\Delta n \cdot n_e(n_e + n_o)} \left(\frac{K_{33}}{K_{11}} + \frac{\Delta\epsilon}{\epsilon_\perp} \right) \quad (5)$$

(K_{33} — коэффициент упругости для деформации продольного изгиба; n_e , n_o — показатели преломления, $\Delta\epsilon/\epsilon_\perp$ — относительная величина диэлектрической анизотропии).

Из [7] следует, что высокая крутизна вольт-контрастной характеристики (ВКХ) S-эффекта (минимальные значения ΔU_π) получается для твист-эффекта при малых величинах отношений K_{33}/K_{11} и $\Delta\epsilon/\epsilon_\perp$ (вклад этих величин в крутизну ВКХ твист-эффекта различен [8]), а также в противоположность твист-эффекту при больших значениях двупреломления Δn . Из соотношения (5) можно оценить, что увеличение Δn на 1 % при $\Delta n = 0.2$, $n_o = 1.5$ приводит к уменьшению $\Delta U_\pi/U_\pi$ на 1.2 %, уменьшение K_{33}/K_{11} или $\Delta\epsilon/\epsilon_\perp$ на 1 % уменьшает значение $\Delta U_\pi/U_\pi$ на 0.5 % при $K_{33}/K_{11} = \Delta\epsilon/\epsilon_\perp = 1$ или на 0.8 % при реально достижимых величинах $K_{33}/K_{11} = 0.8$ и $\Delta\epsilon/\epsilon_\perp = 0.4$. При больших напряжениях смещения $U_{\text{ЖК}}$, когда зависимость $\Delta\Phi(U_{\text{ЖК}})$ становится нелинейной, величина ΔU_π может быть рассчитана при использовании результатов [11, 12].

Зависимость времени переключения от $U_{\text{ЖК}}$ теоретически и экспериментально рассмотрена в [13]. Значения $\tau_\pi^{\text{вкл}}$, $\tau_\pi^{\text{выкл}}$ получаются при приложении к слою ЖК стационарного напряжения смещения $U_{\text{ЖК}}$ и включении или выключении добавки напряжения, равной ΔU_π . При $U_{\text{ЖК}} \geq U_\pi$ $\tau_\pi^{\text{вкл}}$, $\tau_\pi^{\text{выкл}}$ можно описать эмпирическими формулами

$$\tau_\pi^{\text{вкл}} = \frac{a \cdot \eta(\theta) \cdot L^2}{\Delta\epsilon (U_{\text{ЖК}} + \Delta U_\pi)^2 / 4\pi^3 - K(\theta)}, \quad (6)$$

$$\tau_\pi^{\text{выкл}} = \frac{a \cdot \eta(\theta) \cdot L^2}{\Delta\epsilon \cdot U_{\text{ЖК}}^2 / 4\pi^3 - K(\theta)}, \quad (7)$$

где a — определяемая формой электрооптического отклика константа, $\eta(\theta)$ и $K(\theta)$ — зависящие от величины угла наклона θ директора в ячейке эффективные значения коэффициентов упругости и вязкости.

Без учета градиентного члена $(d\theta/dz)^2$, где Z — координата, перпендикулярная плоскости ячейки, для $K(\theta)$ с хорошей точностью можно записать

$$K(\theta) = K_{11} \cos^2 \theta + K_{33} \sin^2 \theta. \quad (8)$$

Эффективную вязкость $\eta(\theta)$ можно определить из следующих соотношений:

$$\eta(\theta) = \gamma_1 - \varphi^2 / \Psi, \quad (9)$$

$$\varphi = \alpha_3 \cos^2 \theta - \alpha_2 \sin^2 \theta, \quad (10)$$

$$\Psi = \alpha_1 \cos^2 \theta + \frac{1}{2} (\alpha_3 + \alpha_6) \cos^2 \theta + \frac{1}{2} (\alpha_5 - \alpha_2) \sin^2 \theta + \frac{1}{2} \alpha_4, \quad (11)$$

$\alpha_i, i=1-6$ — коэффициенты вязкости Лесли.

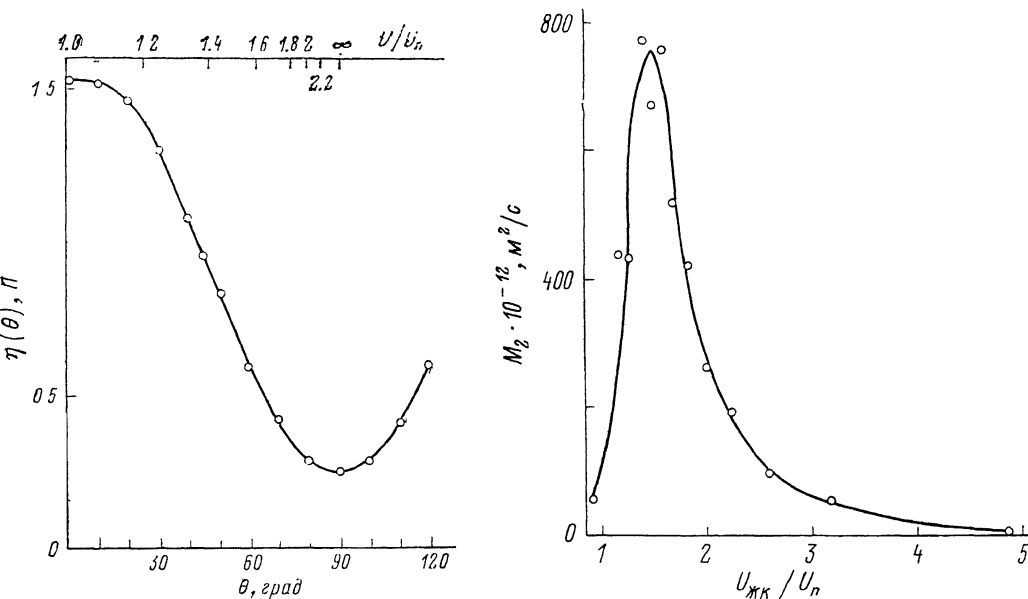


Рис. 1. Зависимость эффективного значения вращательной вязкости НЖК $\eta(\theta)$ от угла наклона директора θ .

При $\theta=0$ $\eta(\theta) = \eta_S = \gamma_1$; $\theta=90^\circ$ $\eta(\theta) = \eta_B$. На верхней оси отложены приведенные к пороговому значению напряжения смещения, при которых угол переориентации директора в центре слоя ЖК равен θ . Значения η при $\theta > 90^\circ$ приведены для оценки влияния обратного течения.

Рис. 2. Зависимость показателя эффективности M_2 от приведенного к пороговому ($U_n = 4.4$ В) напряжения смещения.

МББА + 3 % 4-цианфенилового эфира 4'-гептилбензойной кислоты. $L=23$ мкм, $\lambda=0.633$ мкм.

Учитывая неоднородное распределение угла наклона $\theta(z)$ внутри ячейки и возникающее при этом обратное течение, в [13] для описания динамики частичной переориентации ЖК получен интегральный член вида

$$R = \int_0^L \frac{\varphi}{\Psi} \frac{\partial \theta}{\partial t} dz \left| \int_0^L \frac{dz}{\Psi} \right., \quad (12)$$

учет которого уменьшает эффективное значение вязкости в 1–1.4 раз в зависимости от U_{JK} . Величина $\eta(\theta)$ меняется в диапазоне от $\eta_S = \gamma_1 - (\alpha_2^2 / \eta_1)$ при $\theta=0$ до $\eta_B = \gamma_1 - (\alpha_2^2 / \eta_2)$ при $\theta=\pi/2$ (η_1, η_2 — коэффициенты вязкости Мезовича). На рис. 1 приведена зависимость эффективной вязкости от угла деформации директора, полученная при подстановке в (9)–(11) коэффициентов α_i для МББА [14]. Для НЖК выполняются соотношения $\eta_S \approx \gamma_1$ и $\eta_S / \eta_B \equiv \eta_1 / \eta_2$ [15]. В [16] описана взаимосвязь вращательной вязкости и динамической вязкости η , измеряемой при течении НЖК и близкой по величине $K\eta_2$. С учетом взаимосвязи величин γ_1 и η_B , K_{11} и K_{33} для описания динамики переориентации НЖК достаточно вязкоупругого отношения γ_1 / K_{11} .

Поскольку время переключения НЖК обратно пропорционально квадрату напряжения смещения, то эффективность ЖКМ стоит оценивать параметром, включающим в себя произведение $\tau_{\pi} (\Delta U_{\pi})^2$. Согласно (5), $\Delta U_{\pi} \sim U_{\pi}$, поэтому наиболее простое выражение, описывающее эффективность ЖКМ для ОУТ, выглядит следующим образом:

$$M_1 = \frac{1}{\tau_{\pi}^{\text{выкл}}} \left(\frac{U_{\pi}}{\Delta U_{\pi}} \right)^2. \quad (13)$$

Показатель M_1 имеет размерность с^{-1} . Одинаковую с M размерность ($\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$) имеет параметр, который, как будет показано ниже, не зависит от толщины ЖК ячейки и длины волны считывающего света

$$M_2 = \frac{\lambda L}{\tau_{\pi}^{\text{выкл}}} \left(\frac{U_{\pi}}{\Delta U_{\pi}} \right)^2. \quad (14)$$

На рис. 2 приведена зависимость от напряжения смещения $U_{\text{ЖК}}$ параметра M_2 для смеси 97 % МББА и 3 % 4-цианфенилового эфира 4-гептилбензойной кислоты, полученная при измерении ВКХ S-эффекта и времени изменения фазовой задержки слоя ЖК на 1π ($\lambda = 0.633$ мкм). Изменение $M_2 (U_{\text{ЖК}})$ обусловлено быстрым спаданием $\tau_{\pi}^{\text{выкл}}$ с ростом $U_{\text{ЖК}}$ при приблизительно постоянной величине ΔU_{π} , когда $U_{\text{ЖК}} \gg U_{\pi}$, и значительным увеличением ΔU_{π} при большой деформации слоя НЖК. Оптимальным по сочетанию быстроты действия и малому изменению переориентации директора является $U_{\text{ЖК}} = 1.5 - 2 U_{\pi}$.

Следует отметить схожесть вида зависимости от напряжения для показателя M_2 и для интенсивности пространственного спектра дифракционной решетки^[17].

Рассмотрим подробнее случай $U_{\text{ЖК}} \gg U_{\pi}$. Пусть $U_{\text{ЖК}} = U_{\pi} + \Delta U_{\pi}$. Тогда $\eta(\theta) = \eta_s \simeq \gamma_1$ и $K(\theta) = K_{11} = U_{\pi}^2 \Delta \varepsilon / 4\pi^3$ ^[6, 9]. Используя (7), преобразуем выражение (14) следующим образом:

$$M_2 = \frac{\Delta \varepsilon (U_{\pi} + \Delta U_{\pi})^2 / 4\pi^3 - K_{11}}{a \cdot \eta_s} \frac{\lambda L}{L^2} \left(\frac{U_{\pi}}{\Delta U_{\pi}} \right)^2 = \frac{\Delta \varepsilon \cdot U_{\pi}^2}{4\pi^3} \frac{2\Delta U_{\pi}}{a \cdot \eta_s} \frac{U_{\pi}}{(\Delta U_{\pi})^2} \frac{\lambda}{L} = \frac{K_{11}}{\gamma_1} \frac{2\lambda}{aL} \frac{U_{\pi}}{\Delta U_{\pi}}. \quad (15)$$

Из (15), используя (5) и очевидное соотношение $n_e = n_0 + \Delta n$, получаем

$$\begin{aligned} M_2 &= \frac{K_{11}}{\gamma_1} \frac{4}{a} \frac{\Delta n (n_e + n_0) n_e}{n_0^3} \left(\frac{K_{33}}{K_{11}} + \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon_1} \right)^{-1} = \\ &= \frac{8}{a} \frac{K_{11}}{\gamma_1} \frac{\Delta n \cdot n_0^2 + 1.5 (\Delta n)^2 \cdot n_0 + 0.5 (\Delta n)^3}{n_0^3} \left(\frac{K_{33}}{K_{11}} + \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon_1} \right)^{-1}. \end{aligned} \quad (16)$$

Опуская в (16) постоянный множитель и в третьем множителе члены $\text{с } (\Delta n)^2, (\Delta n)^3$ (при $\Delta n = 0.2$ и $n_0 = 1.5$ ошибка составляет около 20 %), получаем простое выражение для показателя эффективности ЖКМ для ОУТ, включающее только физические параметры НЖК,]
























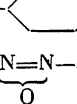







$$M_3 = \frac{K_{11} \Delta n}{\gamma_1} \left(\frac{K_{33}}{K_{11}} + \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon_1} \right)^{-1}. \quad (17)$$

Показатель M_3 отличается от предложенного в [7] показателя M показателем степени при Δn и наличием суммы отношений коэффициентов упругости и диэлектрических проницаемостей. Показатель M_3 точнее описывает изменение фазовой задержки считывающего света при изменении режима управления ОУТ, чем показатель M . При этом температурные зависимости обоих показателей похожи (рис. 3, 4), хотя максимум $M_3(T)$ смещен относительно максимума $M(T)$ ближе к температуре просветления.

В таблице приведены величины показателей M и M_3 различных полярных (смеси 40 и 60 мол % пятого и седьмого гомологов цианпроизводных) и слабополярных соединений, полученные по данным, приведенным в [18-20]. Наибольшее значение показателя эффективности среди полярных соединений имеют производные алкилцианобифенилов ($M = 2.33 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$, $M_3 = 3.82 \times 10^{-12} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$), среди неполярных — производные алкилалкокситоланов ($M = 5.94 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$, $M_3 = 12.6 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$). Следует также отметить высокое

значения M_3 для производных пиридина и фенилциклогексана и азокиссоединений. Весьма привлекательными являются также алкенильные производные фенилциклогексана с полярной NCS-группой [21].

Показатели эффективности M и M_3 ЖК веществ при $t = 25^\circ\text{C}$

Структурная формула	$\gamma_1, \text{Па} \cdot \text{с}$	$K_{11} \cdot 10^{-12},$ $\frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{г}}$	$\frac{K_{33}}{K_{11}}$	$\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon_1}$	Δn	$T_{NI}, ^\circ\text{C}$	$M \cdot 10^{-12},$ $\frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м}^2 \cdot \text{г}^{-1}}$	$M_3 \cdot 10^{-12},$ $\frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м}^2 \cdot \text{г}^{-1}}$
C_nH_{2n+1} -  -  -CN	0.11	7.65	1.38	1.95	0.183	39	2.33	3.82
$C_nH_{2n+1}O$ -  -  -CN	0.33	10.4	1.40	1.65	0.19	72	1.14	1.96
C_nH_{2n+1} -  -  -CN	0.1	11.5	1.78	1.8	0.11	56.4	1.39	3.53
C_nH_{2n+7} -  -  -CN	0.36	11.2	2.10	1.75	0.13	96.5	0.53	1.05
C_nH_{2n+1} -  -  -CN	0.19	10.2	1.10	2.95	0.18	51.2	1.74	2.39
C_nH_{2n+1} -  -  -CN	0.184	7.50	1.28	1.55	0.178	44.2	1.29	2.56
C_nH_{2n+1} -  -  -CN	0.220	8.25	1.40	1.08	0.18	49.2	1.22	2.72
C_nH_{2n+1} -  -  -CN	0.178	7.46	1.75	1.35	0.105	58	0.46	1.42
C_nH_{2n+1} -  -  -CN	0.350	14.00	1.50	0.95	0.190	62.7	1.44	3.10
C_nH_{2n+1} -  -  -CN	0.140	8.80	1.57	0.47	0.13	57.3	1.06	4.01
$CH_2=CH-C_2H_4$ -  -  -NCS	0.051	9.5	—	—	0.183	41.1	6.24	—
C_4H_9 -  -  -  -OCH ₃	0.158	9.74	1.66	-0.06	0.28	74.7	4.83	10.79
C_nH_{2n+1} -  -COO-  -OC ₂ H ₅	0.220	9.7	1.1	0.5	0.14	51.6	0.86	3.86
C_nH_{2n+1} -  -COO-  -OC ₂ H ₅	0.134	12.7	1.3	0.2	0.10	73.6	0.95	6.32
C_6H_{11} -  -C≡C-  -OCH ₃	0.140	11.40	1.74	0.00	0.27	57.3	5.94	12.64

Рассмотрим также, как изменяются величины показателей M и M_3 от концентрации 4-пентил-(4'-цианфенилциклогексана) (ФЦГ-7) в смесях с ЖК-440 (смесь А в работе [22]). При вычислении M и M_3 использованы данные, приведенные в [20, 23, 24]. Показатель M_3 равен $10 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ в диапазоне концентраций полярного соединения 0–30 вес.%, а затем линейно уменьшается с концентрацией ФЦГ-7 до $1.25 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$. Оптимальной концентрацией полярного соединения в этой системе смесей является концентрация 20 вес.%, при которой минимально значение ΔU_π . Показатель M почти монотонно уменьшается с ростом $X_{\text{ФЦГ}}$. Видно, что показатель M_3 лучше подходит для описания характеристик ЖКМ для ОУТ.

Концентрационные зависимости показателей M и M_3 определяются уменьшением Δn и увеличением $\Delta \varepsilon/\varepsilon_1$ с ростом концентрации полярного компонента, а также существенно немонотонным изменением K_{11} , γ_1 и K_{33}/K_{11} .

Таким образом, в настоящей работе получено выражение для показателя эффективности ЖКМ для оптически управляемых транспарантов (пространственно-временных модуляторов света), основанное на изменении фазовой задержки проходящего через слой ЖК света при изменении режима и не зависящее от толщины слоя ЖК и длины волны считывающего света. Рассмотрены связь показателя эффективности с молекулярным строением ЖК веществ и концентрационная зависимость показателя в смесях веществ различной полярности. Показано, что наилучшими компонентами ЖКМ для ОУТ являются производные цианбифенилов, фенилциклогексана и алкил-алкокситоланов.

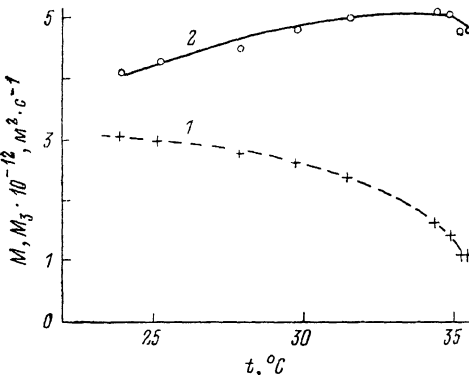


Рис. 3. Температурная зависимость показателей эффективности $M(1)$ и $M_3(2)$ 4-пентил-4'-цианбифенила.

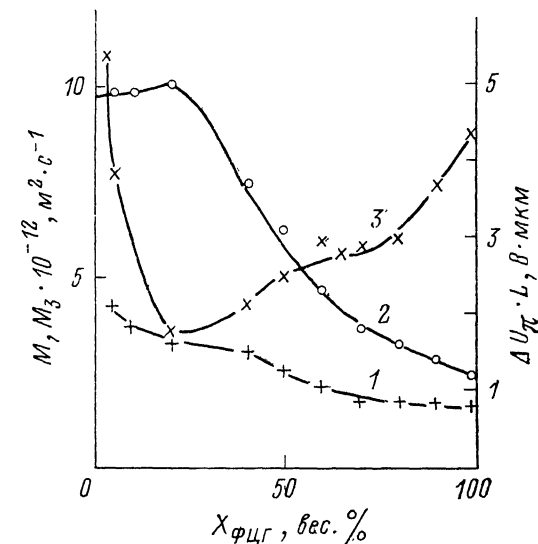


Рис. 4. Зависимость от концентрации полярного компонента $X_{\text{ФЦГ}}$ показателей эффективности $M(1)$, $M_3(2)$ и полуволнового напряжения $\Delta U_{\pi} \cdot L$ В-мкм (3, масштаб справа, $\lambda = 0.633$ мкм) для смесей ФЦГ-7 с ЖК-440.

Список литературы

- [1] Васильев А. А., Касасент Д., Компанец И. Н., Парфенов А. В. Пространственные модуляторы света. М.: Радио и связь, 1987.
- [2] Думаревский Ю. Д., Ковтонок Н. Ф., Савин А. И. Преобразователи изображений на основе структур полупроводник—диэлектрик. М.: Наука, 1987.
- [3] Сихарулидзе Д. Г., Чилая Г. С. Преобразователи изображений типа МДП—электрооптический материал. М.: Радио и связь, 1986.
- [4] Владимиров Ф. Л., Моричев И. Е., Плетнева Н. И. // ЖТФ. 1984. Т. 54. Вып. 3. С. 657.
- [5] Мьяльников В. С., Грознов М. А., Морозова Е. А. и др. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. Вып. 1. С. 38.
- [6] Чигринов В. Г. // Кристаллография. 1982. Т. 27. С. 404.
- [7] Wu S. T., Lackner A. M., Efron U. // SPIE. 1987. Vol. 824. P. 49.
- [8] Беляев В. В., Деулчанская Н. Н., Долгих А. В. и др. // ЖТФ. 1991. Т. 61. Вып. 3. С. 139.
- [9] Чигринов В. Г., Гребенкин М. Ф. // Кристаллография. 1975. Т. 20. С. 1240—1244.
- [10] Nehring J. // Proc. III Liquid Crystal Conf. of Soc. Countries. «Advances in Liquid Crystal Research & Applications». Oxford: Pergamon Press; Budapest: Akademiai Kiado, 1980. Vol. 2. P. 1155.
- [11] Balzarini D. A., Dunmur D. A., Palffy-Muhorray P. // Mol. Cryst. Liq. Cryst. Lett. 1983. Vol. 102. P. 35.
- [12] Welford K. R., Sambles J. R. // Mol. Cryst. Liq. Cryst. 1987. Vol. 147. P. 25.
- [13] Чигринов В. Г., Беляев В. В. // Кристаллография. 1977. Т. 22. С. 603—606.
- [14] Кнеппе Н., Schneider F., Sharma N. K. // J. Chem. Phys. 1982. Vol. 77. P. 3203.
- [15] Van der Meulen J. P., Zijlstra R. J. J. // Physica. 1985. Vol. 132 B. P. 153.
- [16] Bock F.-J., Кнеппе Н., Schneider F. // Liq. Cryst. 1986. Vol. 1. P. 239.
- [17] Аннин С. Н., Беляев В. В., Ковтонок Н. Ф. и др. // ЖТФ. 1989. Т. 59. Вып. 1. С. 80—83.

- {18] *Беляев В. В.* // Успехи химии. 1989. Т. 58. № 10. С. 1601—1670.
- {19] *Беляев В. В., Гребенкин М. Ф.* // Кристаллография. 1983. Т. 28. С. 1003—1006.
- {20] *Гребенкин М. Ф., Иващенко А. В.* Жидкокристаллические материалы. М.: Химия, 1989.
- {21] *Vischerer R., Schadt M.* // Mol. Cryst. Liq. Cryst. 1987. Vol. 149. P. 359.
- {22] *Барник М. И., Беляев С. В., Гребенкин М. Ф.* и др. // Кристаллография. 1978. Т. 23. С. 805.
- {23] *Grebenkin M. F., Veresnev G. A., Belyaev V. V.* // Mol. Cryst. Liq. Cryst. 1983. Vol. 103. P. 1.
- {24] *Беляев В. В., Гребенкин М. Ф.* // Кристаллография. 1984. Т. 29. С. 815—816.

Поступило в Редакцию
30 августа 1990 г.
