

УДК 532.783 + 547

Г. М. Байрамов

**ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ ЧАСТИЦ СЕРЕБРА НА ПОРОГ
ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ
НЕМАТИЧЕСКОГО ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА**

**SMALL SILVER PARTICLES' INFLUENCE ON THRESHOLD OF ELEC-
TROHYDRODYNAMIC INSTABILITY OF NEMATIC LIQUID CRYSTAL**

Бакинский государственный университет

A3 1148 Баку, Азербайджан, ул. З. Халилова, д. 23. E-mail: gazanfarb@mail.ru

В работе экспериментально исследовано влияние малых частиц серебра, диспергированных в нематическом жидком кристалле, на пороговые характеристики электрогидродинамической неустойчивости (ЭГДН). Показано, что добавление малых частиц серебра понижает порог ЭГДН и увеличивает предельную частоту исчезновения ЭГДН.

Ключевые слова: жидкие кристаллы, пороговые характеристики, электрогидродинамическая неустойчивость.

The influence of small silver particles dispersed in nematic liquid crystal on the electrohydrodynamic instability threshold characteristics (EHDI) was examined at this work. It is shown that the addition of small silver particles reduces the electrohydrodynamic instability threshold and increases the cutoff of the EHDI disappearance.

Key words: liquid crystals, threshold characteristics, electrohydrodynamic instability.

Введение

Многочисленные электрооптические эффекты, наблюдаемые в жидких кристаллах (ЖК) можно делить на две группы [1 – 5]:

1) полевые эффекты, основанные на повороте оптической оси ЖК из-за взаимодействия анизотропии диэлектрической проницаемости (или спонтанной поляризации хиральных смектических ЖК) с внешним электрическим полем. Примерами могут служить S-, В-, Т-эффекты, холестерико-нематический переход, эффект Кларка-Лагер-волла и т. д;

2) токовые эффекты, обусловленные взаимодействием анизотропии электропроводности с электрическим полем и приводящие к конвективному движению молекул ЖК, поэтому часто называемые электрогидродинамической неустойчивостью (ЭГДН).

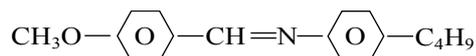
Во втором случае наблюдаемая неоднородность поля директора приводит к эффективному рассеянию света, если размер области неоднородности сравним с длиной волны света. Внешне это проявляется как переход ЖК-ячейки из прозрачного состоя-

ния в рассеивающее. Положительная сторона отмеченного электрооптического эффекта состоит в том, то в нем не требуется наличие поляризаторов. Кроме того, при определенном частотном интервале приложенного синусоидального напряжения эффект проявляется в виде возникновения параллельных полос, перпендикулярных к директору (домены Вильямса). Пороговое напряжение возникновения этих доменов, а также их размеры зависят как от физических параметров ЖК (компонент диэлектрической проницаемости и электропроводности, коэффициентов Франка-Озеена и Лесли и т. д.), так и внешних условий (поверхностной обработки, частоты приложенного поля и т. д.). Диспергирование малых твердых частиц (МТЧ) в ЖК-среде строго меняет исходное распределение директора, а тем самым характеристики отмеченного эффекта ЭГДН.

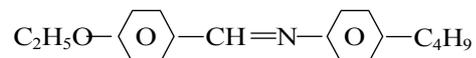
В данной работе исследованы пороговые характеристики электрогидродинамической неустойчивости в нематическом ЖК, где диспергированы микронные (0,2 – 2 мкм) частицы серебра.

Объект исследования и экспериментальная методика

В качестве исследуемого НЖК была подобрана эвтектическая смесь классических жидких кристаллов 4-метоксибензилиден 4'-бутиланилина (МВВА – Cr • 21 °C N • 47 °C Iso)



и 4-этоксибензилиден 4'-бутиланилина (ЕВВА – Cr • 36 °C N • 77,5 °C Iso)



в мольном соотношении 1:1 (коммерческая марка Н-37), обладающая широким температурным интервалом нематической фазы:



Подбор данной смеси дополнительно мотивируется тем, что для этого ЖК

$\Delta \varepsilon = \varepsilon_{\parallel} - \varepsilon_{\perp} < 0$ и $\frac{\sigma_{\parallel}}{\sigma_{\perp}} > 1$. Это самый удобный случай исследования ЭГДН в нематических ЖК, т. к. в планарном образце ЖК с $\Delta \varepsilon < 0$ исключено возникновение полевых эффектов и наблюдается только ЭГДН.

В качестве диспергируемых частиц были выбраны частицы серебра *Ag* (проводящие микрочастицы) с размерами 0,2 – 2 мкм. Диспергирование указанных частиц в жидком кристалле проводилось комбинированным способом. На первом этапе используется механическая мешалка с частотой вращения до 1000 об./мин, а на втором этапе – ультразвуковой диспергатор с предельной частотой вибрации 120 кГц. Отметим, что указанные частицы диспергируются в жидком кристалле в ограниченном количестве. Предельная концентрация диспергирования для частиц серебра составляет примерно 0,5 %. Более крупные частицы серебра непосредственно видны в поляризационный микроскоп (рис. 1, б). Для ячейки толщиной 30 мкм на 1 мм² площади можно насчитать порядка 100 частиц, а грубый расчет дает в 2 раза больше, если принять во внимание, что частицы серебра монодисперсны и имеют размер 2 мкм.

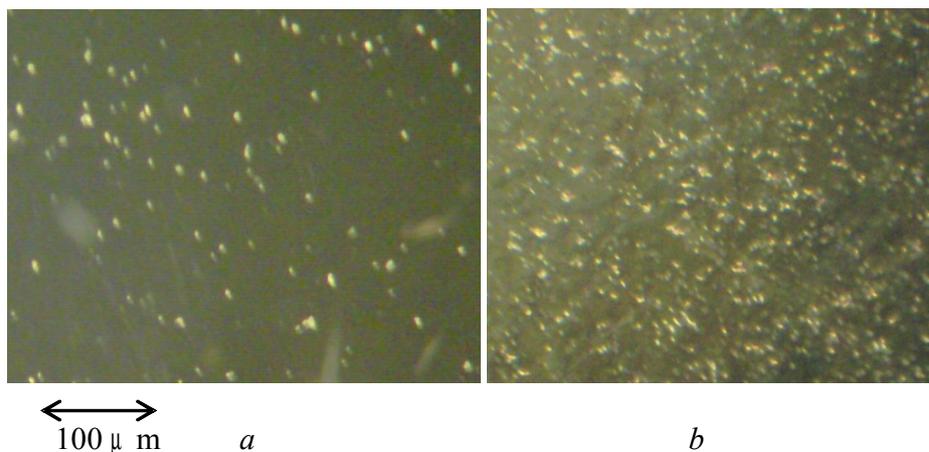


Рис. 1. Фотографии полученные с помощью поляризационного микроскопа:
a – гомеотропная ориентация нематического ЖК Н-37;
b – гомеотропная ориентация Н-37+ Ag (0,2 %)

Пороговое напряжение возникновения ЭГДН (доменов Вильямса) определяется визуально по наблюдению в скрещенных николях поляризационного микроскопа (рис. 2).

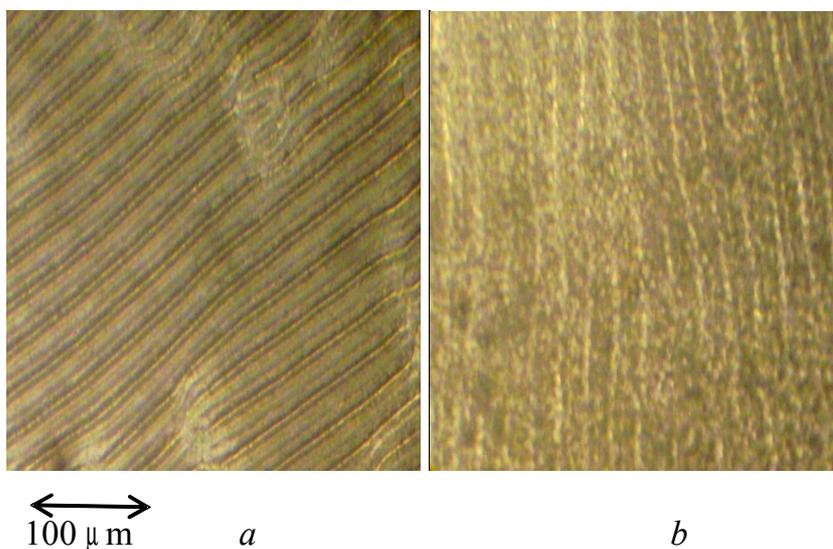


Рис. 2. Домены Вильямса, наблюдаемые в:
a – нематическом ЖК Н-37; *b* – Н-37+ Ag (0,2 %)

Экспериментальные результаты

Результаты предварительных измерений показали, что добавление малых твердых частиц Ag к жидкому кристаллу существенно не влияет на временные и контрастные характеристики ЭГДН. Поэтому основное внимание было уделено поро-

вым характеристикам этого эффекта, точнее к частотной зависимости порогового напряжения возникновения доменов Вильямса. Вспомним, что эти домены возникают в виде параллельных полос, перпендикулярных к направлению директора (рис. 2), если приложенное напряжение превышает определенное значение, называемое пороговым напряжением. Отметим также, что при малых значениях частоты синусоидального напряжения эти домены получаются в искаженном виде (рис. 3), а при постоянном напряжении эти домены вообще не формируются и мы наблюдаем просто сильно рассеивающую динамическую картину.

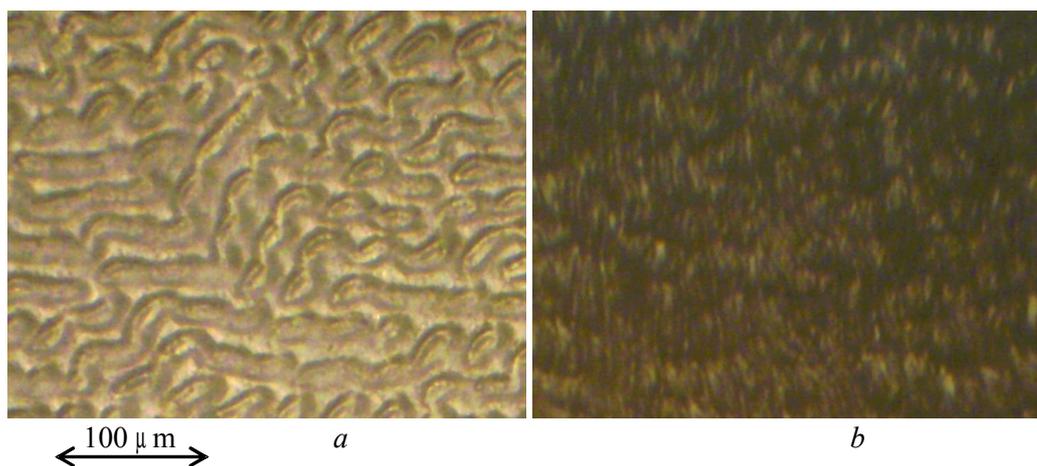


Рис. 3. ЭГДН в планарной текстуре ЖК Н-37:
а – при частоте электрического напряжения 20 Гц; б – при постоянном напряжении

Частотная зависимость порога возникновения ЭГДН показано на рис. 4. Кривые 1 и 2 относятся к чистому ЖК Н-37 и Н-37+ Ag (0,2 %), соответственно.

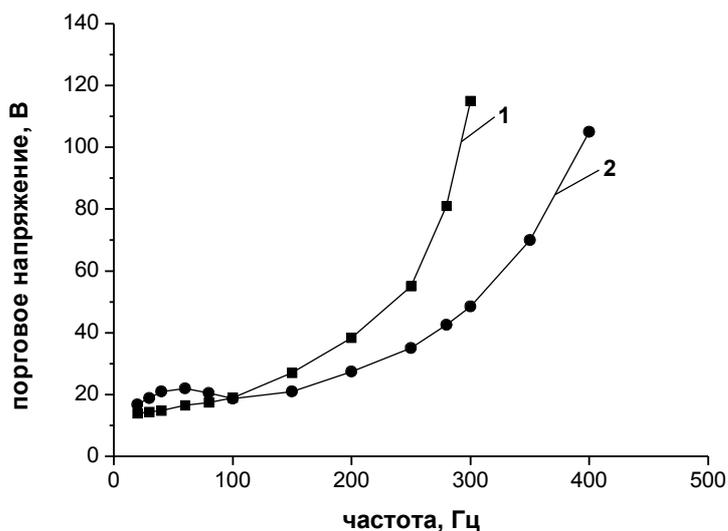


Рис. 4. Частотная зависимость порогового напряжения доменов Вильямса:
1 – нематический ЖК Н-37; 2 – Н-37+ Ag (0,2 %)

Во всех случаях наблюдается известное в литературе поведение [1 – 8] $U_{th}(f)$: с ростом частоты пороговое напряжение растет и при некоторой частоте f^{max} оно стремится к бесконечности, т. е. ЭГДН не наблюдается. Сравнение полученных кривых позволяет установить, что добавление микронных частиц серебра в ЖК Н-37 уменьшает пороговое напряжения возникновения ЭГДН и увеличивает предельную частоту исчезновения f^{max} ЭГДН.

Обсуждение результатов

ЭГДН, как правило, наблюдается в нематическом ЖК с $\Delta\varepsilon < 0$ и $\Delta\sigma > 0$. Второе условие выполняется для подавляющего большинства нематических ЖК, т. к. подвижность молекул-ионов в продольном направлении больше, чем в поперечном направлении, поэтому $\sigma_{||} > \sigma_{\perp}$. Согласно Хельфриху [6] именно это условие приводит к возникновению областей с пространственным зарядом из-за флуктуации поля директора.

Пороговое напряжение возникновения ЭГДН определяется из уравнения баланса моментов (диэлектрических, гидродинамических и упругих) и для НЖК с $\Delta\varepsilon < 0$ определяется формулой [7 – 9]:

$$U_{th} = \frac{V_0}{\sqrt{\eta^2 - 1}} ; \quad V_0 = - \frac{CK_{33}\varepsilon_{||}}{\varepsilon_0\varepsilon_{\perp}\Delta\varepsilon} , \quad \eta^2 = \left(1 - \frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{||}} \cdot \frac{\varepsilon_{||}}{\varepsilon_{\perp}}\right) \cdot \left(1 + \frac{\mu_2\varepsilon_{||}}{\eta_c\Delta\varepsilon}\right),$$

где μ_2 – коэффициент Лесли (вращательная вязкость), η_c – трансляционная вязкость, C – постоянная порядка π , K_{33} – упругая постоянная продольного изгиба, $\varepsilon_0 = 8,85 \text{ pF} / \text{m}$ – электрическая постоянная. Как показывают формулы, для уменьшения порогового напряжения необходимо увеличить отношение $\frac{\sigma_{||}}{\sigma_{\perp}}$ и уменьшить K_{33} .

Изменение порогового напряжения ЭГДН при добавлении малых твердых частиц серебра в ЖК трудно связать с изменением анизотропии электропроводности, т. к. данные таблицы показывают, что выбранные концентрации диспергированных частиц существенно не меняют компоненты диэлектрической проницаемости и электропроводности.

Жидкий кристалл	$\varepsilon_{ }$	ε_{\perp}	$\sigma_{ }, \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$	$\sigma_{\perp}, \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$
Н-37	4,7	5,0	$4,2 \cdot 10^{-7}$	$3,5 \cdot 10^{-7}$
Н-37 + Ag (0,2%)	4,9	5,2	$4,3 \cdot 10^{-7}$	$4,0 \cdot 10^{-7}$

Мы полагаем, что наличие субмикронных твердых частиц серебра в жидко-кристаллической структуре создает точечные дефекты, сильно искажающие поле директора (рис. 1, b). Это служит благоприятствующим фактором для возникновения ЭГДН, поэтому уменьшает пороговое напряжение ЭГДН и увеличивает критическую частоту исчезновения ЭГДН.

Список литературы

1. *Khoо Ch.* J. Liquid Crystals. Wiley & Sons, 2007. 380 p.
2. *Chandrasekhar S.* Liquid Crystals. Cambridge University Press, 1992. 474 p.
3. Handbook of Liquid Crystals / ed. by D. Demus, J. Goodby et al. Wiley-VCH, 1998. Vol. 1. 950 p.
4. *Blinov L. M., Chigrinov V. G.* Electro-optics of liquid crystal materials. Springer-Verlag, 1993. 484 p.
5. *de Gennes P. G., Prost J.* The Physics of Liquid Crystals. Oxford, 1993. 615 p.
6. *Helfrich W.* // J. Chem. Phys. 1969. Vol. 51. P. 4092.
7. *Сонин А. С.* Введение в физику жидких кристаллов. М. : Наука, 1983. 320 с.
8. *Сухариев А. С.* Жидкокристаллические индикаторы. М. : Радио и связь, 1991. 256 с.
9. *Блинов Л. М.* Электрооптика и магнитооптика жидких кристаллов. 1978. 384 с.

Поступила в редакцию 23.09. 2009 г.