

НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭФФЕКТЫ В НЕМАТИКАХ ВЫШЕ ПОРОГА ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ

B.I.Хатаевич, С.А.Пикин, Н.А.Тихомирова,
A.X.Зейналлы

Показано, что путем перевода нематических жидкких кристаллов (НЖК) со "слабым" поверхностным взаимодействием в состояние развитой турбулентности можно получать устойчивое обратимое изменение исходной гомогенной ориентации.

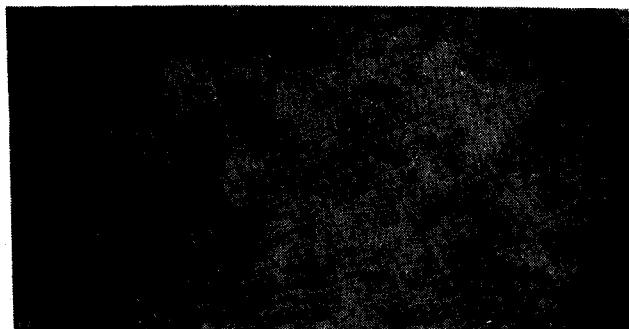
Поведение НЖК вблизи порога электрогоидродинамической (ЭГД) неустойчивости U_* в области низких частот ($\omega < \omega_c \sim 1/\tau$, где τ – время релаксации пространственных зарядов) существенно зависит от граничных условий [1,2]. При возрастании напряжения выше порогового стационарное течение разрушается (режим динамического рассеяния) и при $U_2 \sim 4U_*$ происходит переход к развитой турбулентности (режим вторичного динамического рассеяния (ВДР)) [3,4]. Представляло интерес выяснить влияние граничных условий на гидродинамическое поведение нематика выше U_* .

В настоящей работе исследовался режим развитой турбулентности (ВДР) и его релаксационные свойства в зависимости от характера взаимодействия молекул НЖК с поверхностью.

Исследовались образцы МББА и смеси азоксисоединений (ЖК-440) $d = 15 - 20 \text{ мкм}$, легированных ионной примесью тетрабутиламмоний-бромистый. Электропроводность σ образцов, измеренная на переменном ($f = 1 \text{ кГц}$) токе составляла $10^{-8} - 10^{-9} \text{ ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$.

Известно [1,6], что химическая очистка поверхностей токопроводящих стекол способствует гомеотропному выстраиванию нематика и ослаблению энергии связи с поверхностью, в то время как обработка поверхности натиранием ведет к планарной ориентации. Комбинируя в разной степени оба метода обработки, мы получили ячейки с исходной планарной ориентацией, но различной энергией сцепления. Как будет показано ниже, в зависимости от наблюдаемых ЭГД эффектов, их можно разделить на ячейки со "слабым" и "жестким" сцеплением.

Обнаружено, что если планарно ориентированный слой НЖК (I состояние) со "слабым" поверхностным сцеплением перевести в режим ВДР на низких частотах и снять поле, то образец релаксирует к новому устойчивому состоянию (II), с наклонной ориентацией директора в пространстве. Об этом свидетельствуют изменения емкости и проводимости ячейки и поляризационные микроскопические наблюдения. Так, изменение σ составляет $\sim 20\%$, что соответствует изменению угла наклона молекул примерно на 30° . При этом прозрачность образца в скрещенных николях уменьшается в два - три раза. В этом случае при пороговом значении $U_0' \sim U_0$ возникают "продольные" домены, которые также свидетельствуют о наклонной ориентации [2,6]. Заметим, что распространение ВДР по образцу происходит с конечной скоростью, зависящей от U [7]. Поэтому, если выключить поле в момент, когда ВДР распространился только на часть площади образца, то образуются отдельные области с различной ориентацией (I и II). На рис. 1, а показаны домены, возникающие на участках с I (домены Вильямса) и II (продольные домены) исходной ориентацией.



$\pi_0 \rightarrow$

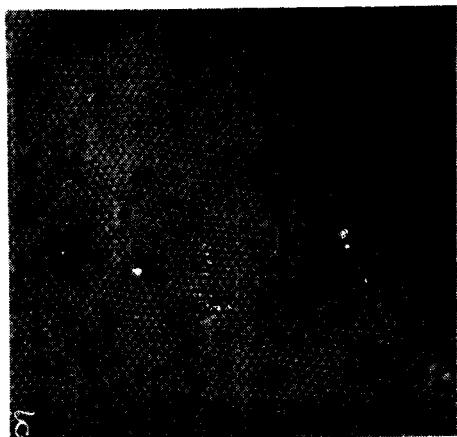


Рис. 1. Фотографии модулированных структур: а - ЖК-440, $d = 20 \text{ мкм}$, $f = 60 \text{ Гц}$, $U = 8 \text{ в}$; б - МББА, $d = 15 \text{ мкм}$, $f = 500 \text{ Гц}$ ($f_c = 650 \text{ Гц}$), $U = 50 \text{ в}$. π_0 - направление первоначальной ориентации директора

Установлено, что возможен также обратный перевод образца из состояния II к I с помощью включения режима ВДР на высоких частотах.

При воздействии на ячейку в состоянии I определенного поля ($1,5 U_0 \leq U_1 < 2 U_0$) формируется стационарная сетчатая картина (рис. 1, б). Эта структура соответствует существованию доменов Вильямса и "продольных" доменов. Такая возможность, связанная с конечным отклонением молекул в доменах Вильямса, отмечалась в [6]. Данная структура, соответствующая переходу к трехмерному течению [6, 7], существует в относительно узком диапазоне напряжений и сменяется турбулентно-подобным течением. На ячейках с "жестким" сцеплением описанные выше эффекты не наблюдаются, и после перехода к режиму ВДР нематик релаксирует к исходному состоянию.

Важную информацию о характере поверхностной и объемной ориентации молекул в динамическом режиме дает изучение времени релаксации τ_p нематика к равновесному состоянию после снятия поля (рис. 2). Значение τ_p , измеренное до перехода к режиму ВДР (кривые 1 и 2), не зависит от U и минимально в случае состояния I. При этом исходная ориентация для обоих состояний восстанавливается. В режиме ВДР для II состояния уменьшение τ_p с ростом U описывается зависимостью $\tau_p \sim U^{-K}$, где $K \approx 1,6$. Для I состояния с ростом $U > U_2$ значение τ_p вначале возрастает, а затем ход кривых $\tau_p(U)$ для обоих состояний совпадает, при этом НЖК релаксирует ко II состоянию.

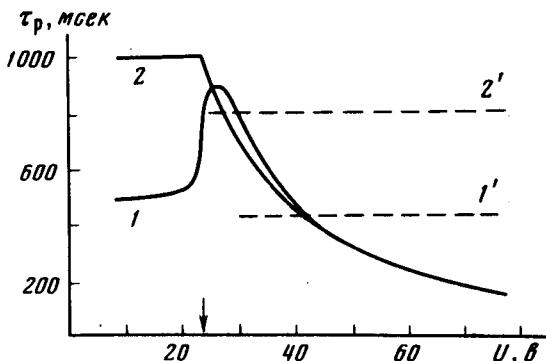


Рис. 2. Зависимость времени релаксации от напряжения ($f = 100 \text{ Гц}$) для случая "слабого" сцепления с поверхностью: ЖК-440, $d = 15 \text{ мкм}$, 1, 1' – исходное состояние I; 2, 2' – состояние II; 1', 2' – снято до ВДР. Стрелка показывает момент выключения поля

Такой процесс перестройки молекулярной ориентации можно объяснить, учитывая особенности гидродинамического поведения нематика в режиме ВДР [3, 4, 8] и характер взаимодействия молекул с поверхностью. В режиме ВДР на низких частотах течение представляет собой вытянутые в направлении приложенного поля вихри, период которых уменьшается с ростом U [8], что приводит к значительному отклонению директора от планарной ориентации. В [4] отмечалась возможность нарушения ориентации приповерхностных слоев при переходе к режиму ВДР. Это должно приводить к исчезновению масштаба турбулентных пульсаций порядка d , и основным масштабом r в режиме ВДР, становится величина $r \sim K^{1/2} E^{-1}$, где K – модуль упругости, $E = U/d$. Соответственно время $\tau_p \sim \gamma r^2 / K \sim \gamma E^2$, где γ – характерная вязкость.

Различный характер релаксации НЖК, по-видимому, обусловлен тем, что в условиях "слабого" сцепления в приповерхностном слое возмож-

ны две равновесные ориентации молекул, одна из которых – наклонная. Поэтому ориентация, сильно возмущенная в режиме ВДР, релаксирует к состоянию II. В то же время в высокочастотном поле ($\omega \gtrsim \omega_c$) включается "диэлектрический" механизм, способствующий ориентации близкой к планарной, из-за отрицательной величины диэлектрической анизотропии. При этом независимо от исходного состояния при выключении ВДР образец релаксирует к состоянию I.

Для ячеек с "жестким" сцеплением характерно возрастание τ_p с увеличением $U > U_2$ [4] и восстановление состояния I.

Таким образом показана возможность получения двух устойчивых гомогенных состояний, обладающих различной прозрачностью (эффект "памяти").

Институт кристаллографии
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
10 мая 1978г.

Литература

- [1] П.де Жен. Физика жидких кристаллов, М., изд. Мир, 1977.
- [2] S.A.Pikin, G.Ryschenkow, W.Urbach. J. de Phys., 37, 241, 1976.
- [3] A.Sussman. Appl. Phys. Lett., 21, 269, 1972.
- [4] В.Н.Чирков, В.И.Хатаевич, А.Х.Зейналлы. Кристаллография, 22, 809, 1977.
- [5] L.A.Goodman. RCA Rev., 34, 447, 1974.
- [6] С.А.Пикин, В.Л.Инденбом. Кристаллография, 20, 1127, 1975.
- [7] S.Kai, K.Hirakawa. Solid State Comm., 18, 1573, 1976.
- [8] R.Chang. J.Appl. Phys., 44, 1885, 1973.