

УДК 53.082.55

С. В. Пасечник, Д. В. Шмелева, Д. А. Семеренко, А. Н. Воронов, О. А. Семина

**МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
АНИЗОТРОПНЫХ СДВИГОВЫХ ВЯЗКОСТЕЙ НЕМАТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ
КРИСТАЛЛОВ**

**MODIFIED OPTICAL METHOD FOR MEASUREMENTS OF
ANISOTROPIC SHEAR VISCOSITIES OF NEMATIC LIQUID CRYSTALS**

Московский государственный университет приборостроения и информатики,
Проблемная лаборатория молекулярной акустики,
107996 Москва, ул. Стромынка, д. 20. E-mail: s-p-a-s-m@mail.ru

Описывается модификация оптического метода измерения анизотропных сдвиговых вязкостей нематических жидких кристаллов в образцах малой толщины в затухающем потоке Пуазейля. Применение стабилизирующего электрического поля, как дополнительного ориентирующего фактора, позволяет получить два базовых коэффициента сдвиговой вязкости Месовича η_1 и η_2 для веществ с положительной анизотропией диэлектрической проницаемости. Метод позволяет проводить измерения для малого количества (примерно $0,2 \text{ см}^3$) ЖК и может быть применен для реологических исследований вновь синтезируемых жидких кристаллов.

Ключевые слова: нематик, сдвиговая вязкость, оптический метод.

The modification of the optical method for measurements of anisotropic shear viscosities of liquid crystals is described. Application of stabilizing electric field as additional factor to the surface induced orientation makes possible to obtain the two principal shear viscosity coefficients η_1 and η_2 at usage of a unique measuring cell. It leads to increasing of accuracy and reliability of measurements for the restricted amount (about $0,2 \text{ cm}^3$) of LC. The modified method can be applied for rheological investigations of newly synthesized liquid crystals.

Key words: nematic, shear viscosity, optical method.

Введение

Анизотропные вязкости нематических жидких кристаллов (НЖК) определяют времена срабатывания жидкокристаллических дисплеев (ЖКД). Для расчета динамического оптического отклика подобных устройств нужно знать не только коэффициент вращательной вязкости γ_1 , но и, так называемую, «вязкость обратного потока» η_b , которая может быть получена из измерений анизотропной сдвиговой вязкости в потоке Пуазейля [1]. Традиционно, для создания нужной однородной ориентации в слое НЖК для таких измерений используется сильное магнитное поле [2]. Кроме того, точные измерения возможны только при использовании большого количества (приблизительно 10 см^3) ЖК, что препятствует рутинным лабораторным измерениям для вновь синтезированных жидкокристаллических материалов.

Ранее нами был предложен оптический метод для измерения анизотропных коэффициентов сдвиговой вязкости ЖК в затухающем потоке Пуазейля [3]. Этот метод позволял определять три базовых коэффициента сдвиговой вязкости (коэффициенты вязкости Месовича η_1, η_2, η_3), соответствующие различным ориентациям директора ЖК \mathbf{n} относительно направления скорости течения \mathbf{v} и градиента скорости $\Delta\mathbf{v}$ (η_1 - для $\mathbf{n} \perp \mathbf{v}$, $\mathbf{n} \perp \Delta\mathbf{v}$; η_2 - для $\mathbf{n} \parallel \mathbf{v}$, $\mathbf{n} \perp \Delta\mathbf{v}$; η_3 - для $\mathbf{n} \perp \mathbf{v}$, $\mathbf{n} \parallel \Delta\mathbf{v}$). В предложенном методе ориентация образца ЖК получалась вследствие соответствующей предварительной обработки внутренних поверхностей капилляра, заполняемого затем жидким кристаллом. Таким образом, исключалось использование сильных магнитных полей. Одной из особенностей метода было использование трех ячеек – по одной для измерения каждого коэффициента сдвиговой вязкости. В общем случае конструкция ячеек ЖК включала клиновидный канал с двумя участками различной ориентации – узкая полоса с гомеотропной ориентацией и широкая полоса с планарной ориентацией. Оптический отклик, вызывавшийся затухающим потоком в гомеотропной части ячейки используется для получения время затухания потока, пропорционального эффективному значению сдвиговой вязкости η_{eff} . Последнее приближается к искомой основной вязкости планарного слоя в случае, когда гидродинамическое сопротивление гомеотропной части канала R_h существенно превосходит сопротивление планарной части R_p . Существует ряд факторов, включая возможность возникновения гидродинамической неустойчивости [4], которые надо учитывать, чтобы получить надежные данные по анизотропным сдвиговым вязкостям. Каждая индивидуальная ячейка должна была быть откалибрована при использовании изотропной жидкости с известной сдвиговой вязкостью. В данной работе мы приводим результаты экспериментальных исследований вязкостных свойств жидкого кристалла при ориентирующем воздействии поверхностей и электрического поля, подтверждающие возможность модификации метода с целью его упрощения и повышения достоверности результатов измерений.

Экспериментальная установка и результаты

В этой части мы описываем модификацию оптического метода, упомянутого выше, которая позволяет оптимизировать конструкцию микровискозиметра и, тем самым, повысить точность и достоверность полученных результатов. Схема эксперимента и конструкция ЖК-ячейки показана на рис. 1.

Измерительная ячейка состоит из двух параллельных каналов различного зазора. ЖК в первом канале с большим зазором образует в исходном состоянии однородную планарную ориентацию за счет соответствующей обработки ограничивающих плоскостей; кроме того, есть возможность использования переменного электрического поля, как дополнительного параметра для создания ориентации. Это позволяет переориентировать ЖК с положительной анизотропией диэлектрической проницаемости и определять минимальное (η_2) и максимальное (η_1) значения анизотропной сдвиговой вязкости ЖК без замены измерительных ячеек. Так что измерительная процедура становится значительно проще по сравнению с используемой ранее при повышении достоверности полученной информации.

Второй канал с малым зазором и исходной гомеотропной ориентацией, выполняет, как и прежде, функцию датчика давления. Однако, в модифицированном методе каналы разделены двумя стеклянными пластинами с помещенным между ними зеркальным слоем, что позволяет проводить регистрацию оптического сигнала в режиме отражения.

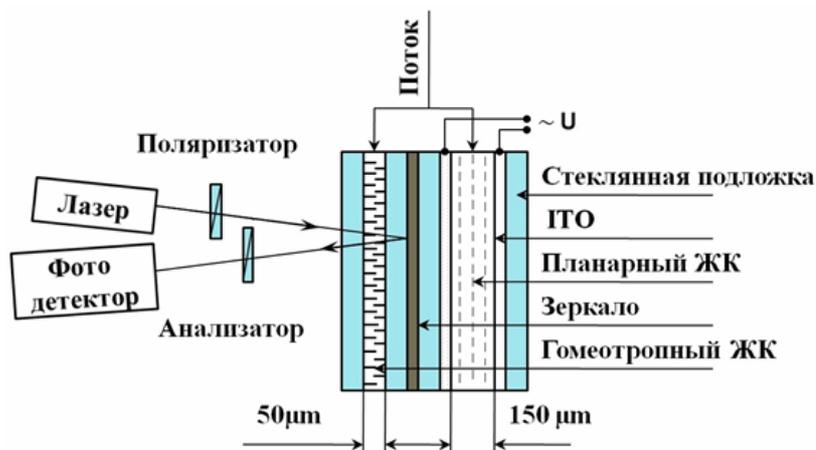


Рис. 1. Схема эксперимента и конструкция измерительной ячейки (вид сверху)

Имеющее при этом место двойное прохождение поляризованного луча света повышает чувствительность оптического отклика к искажениям ориентационной структуры гомеотропного слоя, вызванным течением ЖК, что позволяет минимизировать толщину гомеотропного слоя (до $50\ \mu\text{m}$ в нашем случае). Таким образом, удается понизить относительное воздействие гомеотропной части на эффективную вязкость ЖК и, вследствие этого, повысить точность измерений. Кроме того, при меньшей толщине гомеотропного слоя возрастает ориентирующее действие поверхностей, что обеспечивает линейный режим движения директора в плоскости потока и исключает возможность возникновения гидродинамической неустойчивости в гомеотропной части ячейки.

Проверка работоспособности предложенного метода осуществлялась с использованием стандартного нематического жидкого кристалла – пентилцианобифенила (5СВ). Материальные параметры, в том числе анизотропные коэффициенты вязкости данного кристалла, определены в ходе многочисленных исследований [2], что позволяет сделать выводы о достоверности данных, полученных модифицированным оптическим методом. Основные измерения выполнялись при комнатной температуре ($24 \pm 1,0^\circ\text{C}$).

На рис. 2 представлена временная зависимость интенсивности поляризованного света $I(t)$, полученная для затухающего потока 5СВ в отсутствие электрического поля.

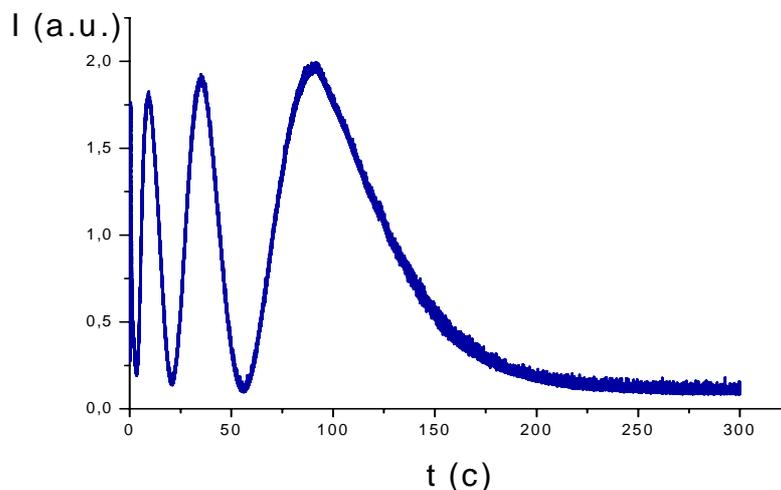


Рис. 2. Временная зависимость интенсивности света $I(t)$ для затухающего потока 5СВ; $U=0$

В соответствии с [3] обработка оптического отклика обеспечивает нахождение времени релаксации τ_δ разности фаз δ между необыкновенным и обыкновенным лучами, прошедшими через гомеотропный слой. Самый простой путь такой обработки данных заключается в измерении разности ($t_{\max}-t_{\min}$) между временными координатами, соответствующими последним локальным экстремумам зависимости $I(t)$, показанным на рис. 2. В линейной модели [3] этот параметр пропорционален характеристическому времени τ_δ разности оптической фазы δ в соответствии с:

$$\tau_\delta = \frac{(t_{\max}-t_{\min})}{\ln 2} \quad [1]$$

Последнее время довольно просто связано со временем затухания потока τ_f ($\tau_f = 2\tau_\delta$), пропорционального эффективной вязкости η_{eff} . Полученная таким образом зависимость τ_δ от электрического напряжения U , приложенного к планарной части ячейки, для случая 5 СВ представлена в таблице.

Зависимость τ_δ от электрического напряжения U , приложенного к планарной части ячейки, для случая 5 СВ

U, В	τ_δ , с	η , Па·с	η , Па·с [2]
0	10	0,020	0,0229(T=23 ⁰ C) 0,0204(T=26 ⁰ C)
10	30	0,061	
20	40,6	0,085	
30	43,5	0,099	
40	46,9	0,108	
50	49,7	0,113	
60	52,2	0,117	
70	55,1	0,119	
80	56,5	0,121	0,1296(T=23 ⁰ C) 0,1052(T=26 ⁰ C)

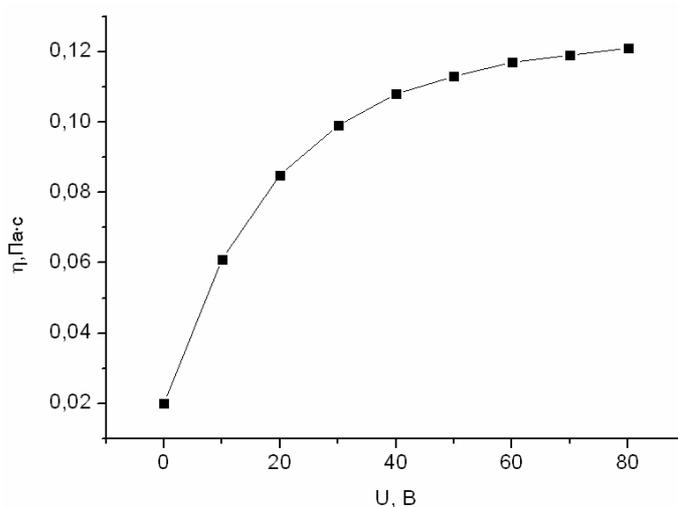


Рис. 3. Зависимость сдвиговой вязкости от напряжения, приложенного к планарной части ячейки

Можно заметить насыщение такой зависимости на высоких напряжениях. В этом случае значение τ_f^{\max} должно определяться максимальным значением коэффициента сдвиговой вязкости η_1 , так как сильное электрическое поле формирует гомеотропную ориентацию слоя, за исключением тонких граничных слоев толщиной $\xi = (d_p/U)(\epsilon_0 \Delta\epsilon / K_{11})^{-1/2}$. Для материальных параметров 5 СВ ($\Delta\epsilon = 11,5$, $K_{11} = 6,4 \cdot 10^{-12}$ Н) отношение ξ/d_p приблизительно равно $2 \cdot 10^{-4}$ при $U = 100$ В. Это дает возможность пренебречь воздействием граничных слоев в отличие от случая использования магнитных полей. Действительно, при условиях, соответствующих нашему эксперименту, получение граничного слоя столь малой толщины потребовало бы использования магнитного поля с индукцией около 10 Тл, что реализуемо лишь с применением сверхпроводящих магнитов.

Отношение τ_f^{\max} / τ_f^0 , полученное из наших измерений, составляло около 5,5, что близко к отношению двух основных вязкостей Мезовича η_1 и η_2 , соответствующих гомеотропной и планарной ориентациям ЖК в капилляре вискозиметра ($\eta_1/\eta_2 = 5,65$ при $T = 23$ °С и $\eta_1/\eta_2 = 5,15$ при $T = 26$ °С [2]). Это подтверждает возможность использования модифицированного оптического метода для измерения двух основных сдвиговых вязкостей нематических жидких кристаллов.

Для получения абсолютных значений эффективной сдвиговой вязкости из приведенных выше данных необходимо откалибровать ЖК вискозиметр. Самый легкий способ такой калибровки может быть реализован прямым оптическим наблюдением движения менисков в открытой трубке, заполненной ЖК, после нагрева выше температуры просветления. В наших экспериментах было установлено, что временная зависимость разности высот $\Delta H(t)$ менисков хорошо описывается экспоненциальным законом и может быть использована для определения времени затухания потока τ_f , которое составило $\tau_f = 18,4$ с при $T = 43,5$ °С.

Абсолютные значения сдвиговой вязкости в нематической фазе могут быть подсчитаны в соответствии с:

$$\eta_{eff} = k \cdot \tau_f \quad [2]$$

где k – постоянная вискозиметра, которая определяется из данных эксперимента, полученных в изотропной фазе и соответствующих значению изотропной сдвиговой вязкости.

Рассчитанные таким образом значения эффективной вязкости приведены в таблице, а зависимость данного параметра от электрического напряжения показана на рис. 3. Показанное в таблице сравнение экспериментально определенных значений вязкости в отсутствии поля и при наличии сильного поля с данными независимых измерений минимального η_2 и максимального η_1 коэффициентов сдвиговой вязкости подтверждает корректность использованной процедуры для определения абсолютных значений анизотропных коэффициентов сдвиговой вязкости жидких кристаллов. Отметим, что для соединений с малым углом ориентации потоком разность двух указанных выше коэффициентов сдвиговой вязкости может быть использована для оценки значения коэффициента вращательной вязкости γ_1 , являющегося основным параметром, определяющим быстроедействие ЖК-устройств различного типа. Согласно данным наших измерений эта разность составляет 0,101 Па·с, что близко к значению $\gamma_1 = 0,0968$ Па·с при $T = 23$ °С, полученному в независимых исследованиях [2].



Заключение

С использованием модифицированного оптического метода выполнено исследование анизотропных сдвиговых вязкостей нематического жидкого кристалла, ориентированного поверхностями и электрическим полем. Получена зависимость характеристических времен затухания сдвигового потока и эффективной сдвиговой вязкости ЖК от управляющего напряжения. Наличие насыщения данных зависимостей в области высоких напряжений позволяет определить значения двух базовых коэффициентов сдвиговой вязкости Мезовича без изменения конструкции ячейки. Результаты измерений находятся в соответствии с независимыми данными [5]. Это делает модифицированный метод довольно привлекательным для рутинных лабораторных измерений вязкостей при малых объемах ЖК (примерно $0,2 \text{ см}^3$).

Работа поддержана грантами Министерства образования и науки Российской Федерации по программам: АБЦП «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2011 гг.)» 2.1.1/5873, ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России (2009–2013 гг.)» (государственный контракт № 16.740.11.0324), ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России (2009–2013 гг.)» (государственный контракт № 14.740.11.0900), ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России (2009–2013 гг.)» (государственный контракт № 14.740.11.1238).

Список литературы

1. Uchida T., Miyashita T. Optically Compensated Bend Mode with Wide Viewing Angle and Fast Response for AM-LCD, IDW'95 Digest, 1995. P. 39 – 42.
2. Беляев В. В. Вязкость нематических жидких кристаллов. М. : Физматлит, 2002.
3. Pasechnik S. V., Chigrinov V. G., Shmeliova D. V. et al. // Liquid Crystals. 2004. Vol. 31. P. 585 – 592.
4. Pasechnik S. V., Krekhov A. P., Shmeleva D. V. et al. // Sov. Phys. JETP. 2005. Vol. 100. P. 804.

Поступила в редакцию 7.07.2011 г.