

УДК 533.6.071.3:532.783

Г.М. Жаркова , В.Н. Коврижина

*Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, Россия,
630090, Новосибирск, Институтская ул., 4/1, E-mail: Kovrizh@itam.nsc.ru*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ К СДВИГУ
ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ
ДОПИРОВАННЫХ ЧАСТИЦАМИ SiO₂**

АННОТАЦИЯ

Для модификации реологических свойств жидкокристаллических индикаторов касательных напряжений с целью расширения области их применения используются специальные добавки. В докладе приведены результаты экспериментального исследования влияния частиц диоксида кремния SiO₂ на оптический отклик жидкокристаллических индикаторов сдвиговых напряжений. Исследовался оптический отклик планарной текстуры холестерических жидких кристаллов и эффект изменения максимума селективного отражения под воздействием набегающего дозвукового потока. Установлено, что добавление SiO₂ уменьшает чувствительность к сдвигу селективного отражения ЖК, что связано с повышением вязкости.

ПАНОРАМНАЯ ДИАГНОСТИКА, КАСАТЕЛЬНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ, ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ, ДИОКСИД КРЕМНИЯ

ВВЕДЕНИЕ

Для панорамной диагностики касательных напряжений поверхностного трения в аэродинамическом эксперименте в качестве индикаторов могут использоваться холестерические ЖК (ХЖК) со спиральной надмолекулярной структурой [1-2]. Такие индикаторы на основе тройных смесей эфиров холестерина, разработанные в ИТПМ СО РАН, были недавно успешно протестированы в условиях промышленных аэродинамических установок ФГУП «ЦАГИ» АТ -128 и АТ-103 [3-5]. В то же время остается ряд актуальных вопросов в оптике и реологии этих индикаторов, которые нуждаются в дополнительном изучении. Так для расширения области их применения и пополнения новыми составами целесообразно было попытаться модифицировать реологические свойства существующих ЖК индикаторов. Тонкий слой ЖК наносится на исследуемую модель. Структура ЖК характеризуется слабым межмолекулярным взаимодействием. Под влиянием воздушного потока происходят текстурные изменения, которые сопровождаются изменением оптических свойств ЖК. Чувствительность ЖК индикаторов к механическому сдвигу определяется в основном адгезией молекул ЖК с поверхностью, на которую они нанесены, и вязко - упругими свойствами ЖК. Для применения таких покрытий в различных аэродинамических установках требуются ЖК смеси с варьируемыми вязко - упругими свойствами. Химический процесс изменения этих свойств - сложный и дорогостоящий. Поэтому внимание исследователей привлекают методы изменения вязкостных свойств смесей ЖК путем

введения добавок, в том числе наноразмерных частиц. В частности, в качестве таких частиц используются частицы аэросила.

Аэросил – это высокоактивный пирогенный диоксид кремния SiO_2 чрезвычайно легкий непористый порошок, который в тонком слое выглядит полупрозрачным, и в частности оказывает выраженное загущающее воздействие. Впервые влияние аэросила на оптические свойства смеси термочувствительных ЖК с винтовой надмолекулярной структурой было исследовано, а метод их применения для диагностики ламинарно-турбулентного перехода запатентован, в Великобритании в 1989 г. в [6]. Авторами было показано, что переориентация молекул ЖК из исходной фокально - конической текстуры в планарную под влиянием сдвига потоком (так называемый текстурный переход) и ЖК материалы с добавками диоксида кремния могут быть использованы для диагностики в аэродинамике. Установлено многостороннее действие частиц аэросила, которые, в частности, приводят к увеличению вязкости ЖК и соответствующему изменению отклика на сдвиг; а также вызывают заострение переднего фронта интенсивности оптического отклика путем индуцирования тиксотропного поведения ЖК. Кроме этого, авторы отметили, что частицы аэросила служат центрами образования конфокальных доменов, в результате чего изменяется поведение молекул ЖК после выключения воздействия. А именно, текстурный переход, свойственный составам ЖК без аэросила, завершается планарной ориентацией молекул, которая обладает большим временем релаксации (эффектом памяти после выключения потока). Добавки могут быть как гидрофильными, так и гидрофобными, размеры частиц от 7 до 50 нм, концентрация частиц от 1 до 30%.

В настоящей работе в отличие от [6] исследовались трехкомпонентные (без учета аэросила), слабо чувствительные к температуре, с концентрацией частиц аэросила не превышающей 2% от веса сухой смеси холестерических ЖК, с исходной планарной ориентацией. Исследуемый оптический эффект – изменение спектра селективного отражения планарной текстуры под воздействием сдвиговых напряжений индуцированных потоком.

Цель работы - изучение влияния наночастиц диоксида кремния SiO_2 на оптический отклик ЖК с планарной ориентацией. Влияние добавки на реологические свойства ЖК индикаторов трения определялось косвенным способом, а именно, путем сравнения характеристик оптического отклика планарной текстуры на сдвиг исходной и модифицированных смесей.

Для исследования использовались составы на основе эфиров холестерина: холестерил пеларгонат (далее компонент А), холестерил хлорид (далее Хл), холестерил олеат (далее Ва): и составы с модифицирующей реологические свойства ЖК добавкой SiO_2 .

НАДМОЛЕКУЛЯРНАЯ СТРУКТУРА ТОНКОПЛЕНОЧНОГО ЖК ИНДИКАТОРА

Как известно, на оптические свойства жидких кристаллов влияет ориентация молекул в слое [7]. Неориентированные холестерики чаще всего образуют конфокальную текстуру, которая обладает сильным светорассеянием из-за хаотической ориентации оси холестерической спирали в микродоменах. Достаточно небольшого сдвига, чтобы конфокальная текстура мгновенно превратилась в планарную. В данном случае планарной будет называться текстура ХЖК, при которой директор каждого слоя (вектор, совпадающий с направлением преимущественной ориентации молекул в монослое) лежит в плоскости препарата, но при этом оптическая ось ХЖК, совпадающая с осью спирали, перпендикулярна поверхности. Молекулы в слое ЖК индикатора винтообразно закручены, вследствие чего он также вращает плоскость поляризации. При освещении белым светом идеальная планарная текстура окрашена в яркие цвета.

ДИНАМИКА ОПТИЧЕСКОГО ОТКЛИКА ЖК ИНДИКАТОРА С ПЛАНАРНОЙ ТЕКСТУРОЙ

Стенд для статической калибровки ЖК индикаторов был создан на основе лабораторной дозвуковой мини - трубы. Он обеспечивал уровни касательных напряжений трения $\tau < 10$ Па, контрольный альтернативный способ их измерения (метод Престона) и тонкую настройку положения калибруемой камеры по угловому положению. Измерения спектрального отклика осуществлялись с помощью портативного спектрофотометра «КОЛИБРИ-2» с оптоволоконным приемником излучения и программного пакета «Атом-3.1», разработанных ВМК-Оптоэлектроника, Новосибирск [8].

На рис. 1 показан пример типичного оптического отклика планарной текстуры базовой смеси ЖК на близкий к ступенчатому импульс касательного напряжения $\tau = 5,2$ Па, индуцированный дозвуковым потоком газа в ходе пуска длительностью $\Delta t \approx 35$ с.

Видно, что пик селективного отражения планарной текстуры ЖК без потока находится на $\lambda_{\max} \approx 650$ нм. Зависимость интенсивности отражения для $\lambda_{\max} = 650$ нм от времени в ходе переориентации потоком показана на нижнем графике. Эти данные позволяют определить λ_{\max} , времена отклика и релаксации и исследовать влияние на них различных факторов.

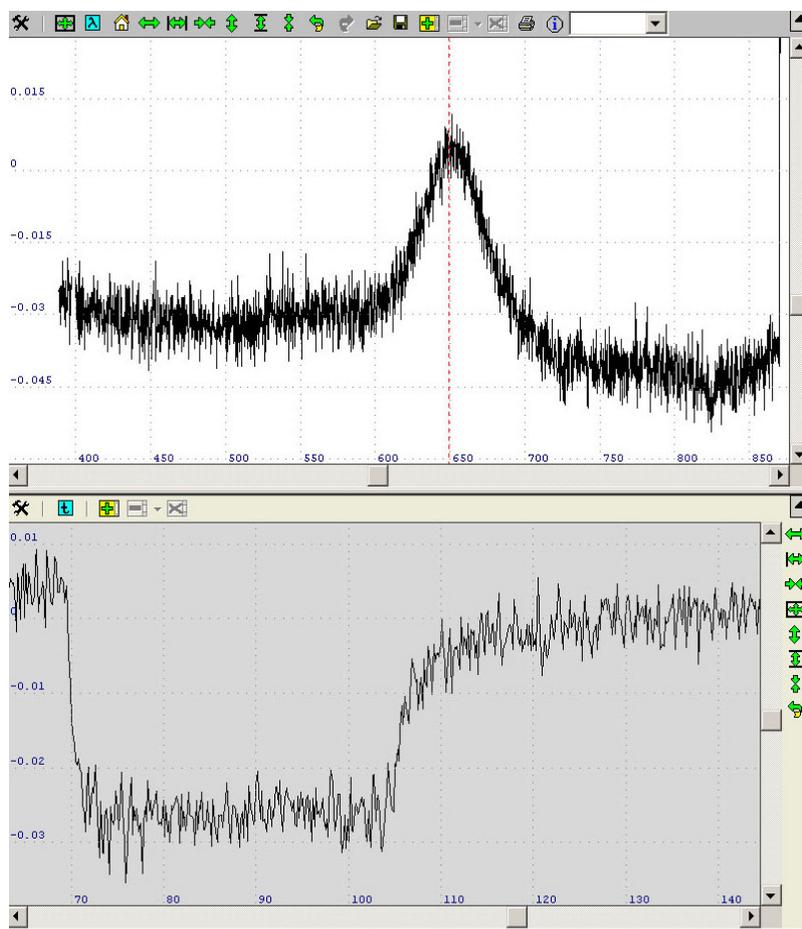


Рис. 1. Спектр селективного отражения без потока (вверху), и зависимость интенсивности отражения $I(t, \lambda = \lambda_{\max} = 650)$ от времени для $\lambda_{\max} = 650$ нм в ходе переориентации потоком с касательным напряжением $\tau = 5,2$ Па (ЖК без аэросила), (внизу).

На рис. 2 показано распределение интенсивности отражения по времени и по длинам волн в видимой области спектра в ходе двух последовательных пусков с уровнями касательных напряжений $\tau_1 = 2,77$ Па и $\tau_2 = 5,2$ Па при исходной планарной ориентации.

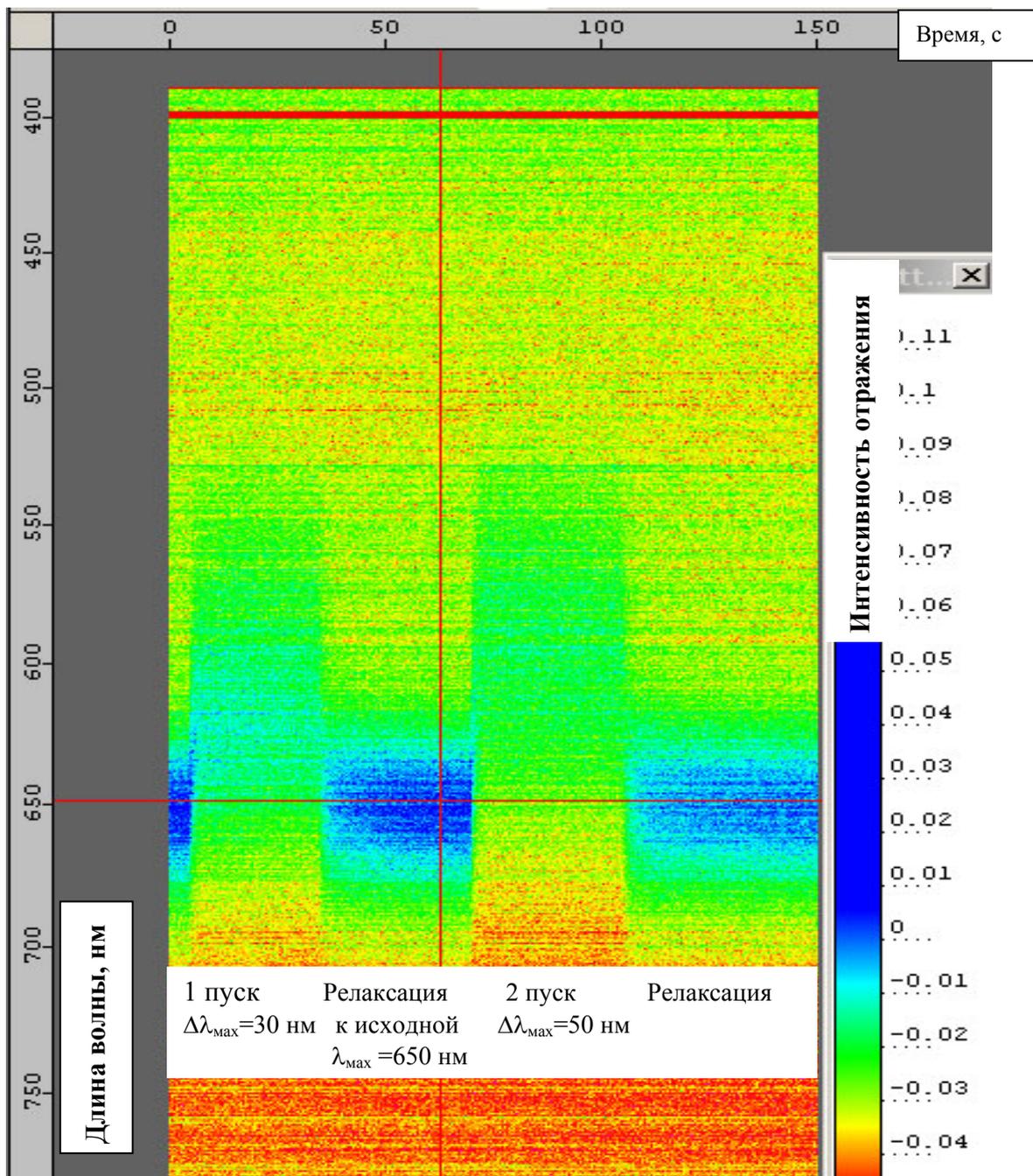


Рис. 2. Пример зависимости интенсивности отражения от длины волны и времени $I(\lambda, t)$ в ходе двух пусков с касательным напряжением $\tau_1=2,77$ Па и $\tau_2=5,2$ Па.

Видно, что перед пуском максимум селективного отражения находится на длине волны $\lambda_{\max}=650$ нм, соответствующей исходной планарной текстуре. Под влиянием потока происходит сдвиг максимума интенсивности в область более коротких длин волн. При отключении воздействия ЖК индикатор релаксирует к исходной $\lambda_{\max}=650$ нм.

Поскольку ХЖК могут обладать свойством тиксотропии – уменьшение вязкости при увеличении длительности воздействия, предварительно было проверено влияние длительности воздействия на оптический отклик ЖК индикатора. Измерения показали, что увеличение длительности воздействия до 300 с на сдвиг максимума длины волны не повлияло.

СРАВНЕНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ОТКЛИКА ПЛАНАРНОЙ ТЕКСТУРЫ ИСХОДНОЙ И МОДИФИЦИРОВАННЫХ АЭРОСИЛОМ СМЕСЕЙ ХЖК

Для изменения чувствительности разработанной ХЖК смеси к механическому сдвигу, варьировалась ее вязкость. Изменение вязкости смеси достигалось путем введения в смесь наночастиц диоксида кремния (аэросила) диаметром 7 нм (1-2% масс. от сухой смеси ЖК). Ниже приведены спектры отражения планарной текстуры ЖК без добавок (рис. 3) и с добавкой 1% аэросила (рис. 4).

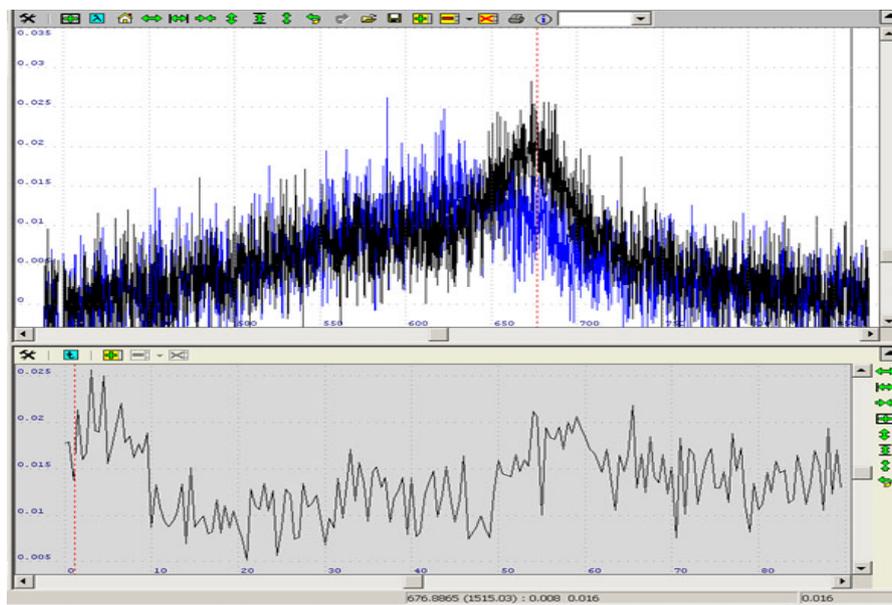


Рис. 3. АВА30Хл30. Исходный спектр без потока (черная линия, $\lambda_{\max} = 675$ нм), отклик на $\tau=5,35$ Па - синяя линия, сдвиг $\Delta\lambda_{\max}=44$ нм (верхнее изображение). Изменение интенсивности отражения на длине волны $\lambda=675$ нм от времени (нижнее изображение).

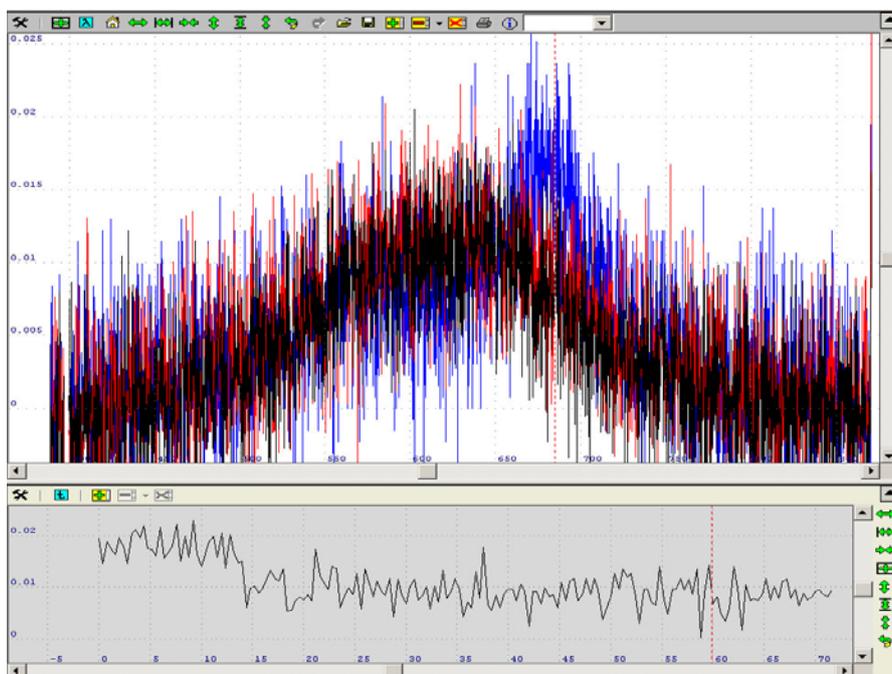


Рис. 4. АВА30Хл 30 +1 % SiO₂. Исходный спектр без потока (синяя линия, $\lambda_{\max} = 675$ нм), отклик на $\tau=5,35$ Па через 10с (красная линия) и 60 с (черная линия).

Видно, что все спектры сильно зашумлены, поэтому для повышения точности определения λ_{\max} необходимо сглаживание данных и многократные измерения. На рис. 5 приведена зависимость модуля смещения длины волны максимума селективного отражения $\Delta\lambda_{\max} = |\lambda_{\max}(\tau) - \lambda_{\max}(\tau=0)|$ от τ для смесей с SiO_2 (1%) и без. Все данные для $\Delta\lambda_{\max}$ взяты в момент времени 10 с от начала воздействия потока. Смесь ХЖК напылением наносилась на исследуемую поверхность. Планарная текстура формировалась разными способами: 2-выстраивания молекул с помощью кисти, 2б - потоком со скоростью 45 м/с. Здесь же показаны соответствующие аппроксимирующие кривые и их уравнения, которые позволяют оценить чувствительность к сдвигу $\Delta\lambda/\Delta\tau$. Видно, что максимальная чувствительность к сдвигу наблюдается у смеси без добавки ($\Delta\lambda/\Delta\tau=16,26$ нм/па). А минимальная ($\Delta\lambda/\Delta\tau=9,722$ нм/па) – у ЖК покрытия с SiO_2 с планарной текстурой, полученной максимальным по величине сдвигом кистью. Т.е. добавление аэросила уменьшает сдвиг максимума селективного отражения, что, по-видимому, связано с повышением вязкости. Увеличение процентного содержания аэросила до 2% приводит к увеличению порогового уровня касательного напряжения выше максимального из исследованных уровней $\tau=5,35$ Па.

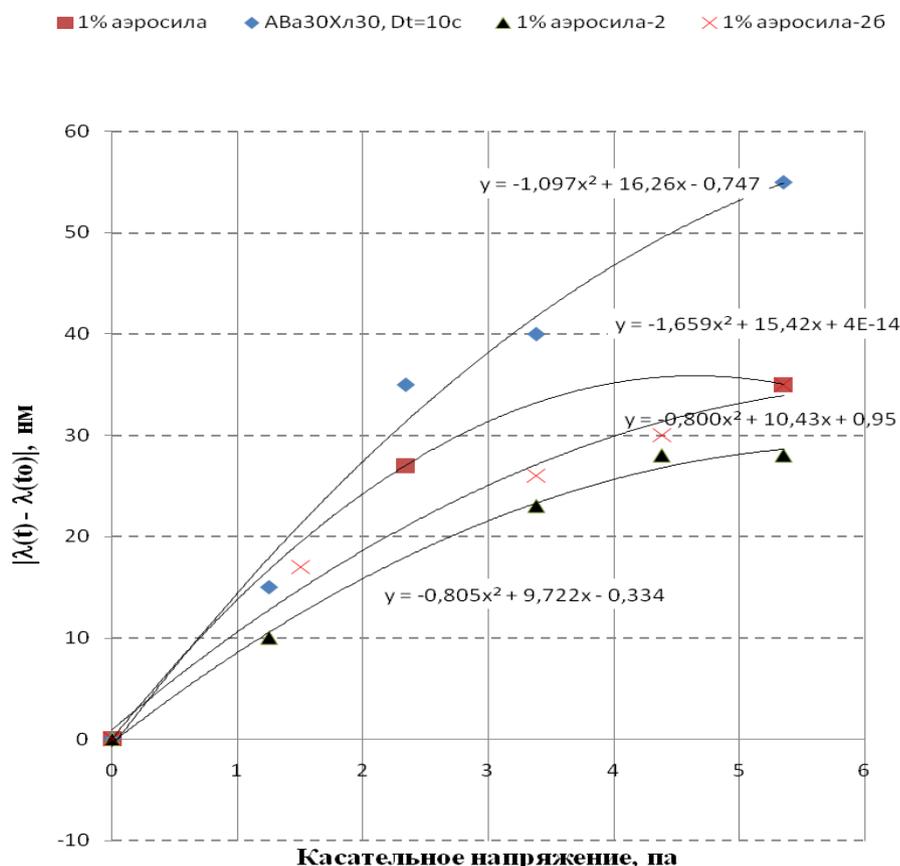


Рис. 5. Зависимость модуля смещения длины волны пика селективного отражения $\Delta\lambda_{\max}$ от касательного напряжения для смеси АВА30Хл30 с добавкой 1 % аэросила и без добавки. 2- исходная планарная текстура получена сдвигом рукой, 2б- потоком 45 м/с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для панорамной диагностики среднего уровня касательных напряжений τ поверхностного трения могут применяться тонкопленочные покрытия на основе оптически - активных ЖК, слабо чувствительных к температуре, но чувствительных к τ .

Результаты изучения оптического отклика и чувствительности к сдвигу ЖК индикаторов на основе эфиров холестерина, допированных наночастицами SiO₂, показали, что модификация вязкости путем введения диоксида кремния приводит к снижению чувствительности к механическому сдвигу, что может позволить расширить область их применения на высокоскоростные течения. Этот способ позволяет изменять вязкостные характеристики ЖК индикаторов в соответствии с условиями аэродинамического эксперимента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Klein, E. J., "Liquid Crystals in Aerodynamic Testing," *Astronautics and Aeronautics*, Vol. 6, July 1968, pp. 70-73.
2. Klein E.J., Margozzi A.P. Apparatus for the calibration of shear-sensitive liquid crystals. *Rev Sci Instrum* 1970, 41, P.:238–239.
3. Zharkova G.M., Kovrizhina V.N., A.P. Petrov A.P., Shapoval, E.S., Mosharov V.E. and Radchenko V.N. Visualization of boundary layer transition by shear sensitive liquid crystals.// *Proceedings PSFVIP-8: The 8th Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing*, - August 21st-25th, 2011 Moscow, Russia. No. 113. - P. 1-5. ISBN 978-5-8279-0093-1.
4. Жаркова Г.М., Коврижина В.Н., Петров А.П. Экспериментальное исследование механо - оптических характеристик жидких кристаллов для оценки перспективности использования ЖК чувствительных к касательным напряжениям в условиях трансзвуковой аэродинамической трубы АДТ-128. Отчет ИТПМ, Инв. №12/10, 2010, 64 с.
5. Исследования перехода пограничного слоя с помощью жидкокристаллических покрытий: Отчет о НИР/ЦАГИ; Отв. исполнитель В.Е. Мошаров; Инв. № 07-4552 – НИО-7, 2011. – 69 с.
6. Патент Великобритании GB2218215 (A), 1989-11-08
7. Жаркова Г.М., Коврижина В.Н. Механо-оптические эффекты в жидких кристаллах и методы их использования для исследования потоков // Сб. трудов одиннадцатой Международной научно-технической конференции «Оптические методы исследования потоков» М.: 27 — 30 июня 2011 г.,– Доклад № 86, 15 с. – ISBN 978-5-9902974-1-8 – № гос. регистрации 0321101669.
8. <http://www.vmk.ru/>

THE STUDY OF SHEAR-SENSITIVE LIQUID CRYSTALS DOPPED BY SiO₂ PARTICLES

G.M. Zharkova, V.N.Kovrizhina

*Christianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics, Russia
630090, Novosibirsk, Institutskaya st., 4/1, E-mail: Kovrizh@itam.nsc.ru*

To expand the field of application of LC indicators of shear stresses and to modify the LCs rheological properties, special additives may be used. In the paper the effect of selective reflection of cholesteric liquid crystals planar texture is considered under conditions of mechanical shear by subsonic flow. Comparison of shear sensitivity of LC mixtures with silica particles and without one is presented. It was stated the SiO₂ additives (1% w.) results in the lesser sensitivity of selective reflection to shear due to increased viscosity.

PANORAMIC DIAGNOSTICS, SHEAR STRESSES, LIQUID CRYSTALS, SILICA DIOXIDE