

УДК 531:532:533:62

ТЕХНИКА И МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ ДЛЯ
ИССЛЕДОВАНИЯ СУХОГО И ЖИДКОГО ТРЕНИЯ ПАРЫ МЕТАЛЛОВ

Оглоблин Г.В., Иваненко В.Ф.

*Амурский гуманитарно-педагогический государственный университет.
Комсомольск – на Амуре.*

Предлагается техника и методика исследования коэффициентов трения пары металлов с помощью жидкокристаллического детектора по тепловым потерям.

Возможность получения градиентных тепловых картин исследуемых объектов с помощью жидких кристаллов [1] позволяет в широких пределах проводить как качественный анализ, что немаловажно при разработке конкретных деталей, но и провести количественные расчёты для каждого конкретного случая.

В качестве примера рассмотрим применение жидких кристаллов в исследовании сухого и мокрого трения по тепловым полям при взаимодействии пары стальной колодки и чугунного диска.



Рис. 1. Узел экспериментальной установки по исследованию сухого и мокрого трения по тепловым полям. 1. Корпус с подвижным чугуном диском. 2. Суппорт. 3. Стальная колодка. 4. Слой жидких кристаллов холестерического типа с мезофазой 40-45°с.

На рис.1 представлен узел исследовательской установки. Где 1 – корпус с подвижным чугуном диском. 2-узел крепления колодки. 3-стальная колодка с нанесённым слоем жидких кристаллов. 4-зона контакта пары чугун-сталь. Применяются термотропные жидкие кристаллы с мезофазой 40 – 45°С. Жидкие кристаллы нагревают до изотропного состояния. Калиброванный, равномерный слой жидких кристаллов по всему образцу, создают нагревом стальной колодки до 50°С, а затем её охлаждают до рабочего состояния. Для увеличения контрастности изображения стальная колодка, перед нанесением жидких кристаллов, покрывается чёрной эмалью (покрытию необходимо сутки отстояться, чтобы исключить побочные эффекты).

Опыт проводят в двух вариантах:

1. Сухое трение пары чугун-сталь.

Исходные данные:

Теплофизические параметры стали 08X18H10T [8]:

$$\rho = 8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3; t_2 = 24 \text{ }^\circ\text{C}; C_v = 756 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$$

Масса активного элемента -0,054кг.

При проведении измерений возможны два варианта считывания информации по теплоте, где расчёт ведётся по формуле $Q = C_v m (t_1 - t_2)$.

1 вариант - мы не учитываем температуру смещения. Тогда

$$Q_1 = C_v m (45^\circ\text{C} - 24^\circ\text{C}) = 756 \cdot 0,054 \cdot 21 = 857,304 \text{ дж}$$

2 вариант.

С учётом смещения.

$$Q_2 = C_v m (40^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C}) = 756 \cdot 0,054 \cdot 5 = 204,12 \text{ дж.}$$

Разница

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2 = 857,304 - 204,12 = 653,184 \text{ дж,}$$

Где $\Delta Q = 653,184 \text{ дж}$ это количество тепла необходимое для обеспечения смещения рабочей точки холестерических жидких кристаллов для данного случая и датчика, при температуре окружающей среды 24°C и жидких кристаллов с мезофазой $40-45^\circ\text{C}$.

На рис.2 приведён результат опыта характерный для первого и второго варианта это зависимость температур от времени для сухого и жидкого трения. Кривая 1 характеризует изменение температуры в случае сухого трения, кривая 2 в случае со смазкой трения. Для достижения температуры 45°C стальной колодки при сухом трении требуется 35с со смазкой трения 110с. В результате на активном элементе отображается цветовая картина температурного поля, а точнее градиентная термограмма рис.4а и рис.4б.

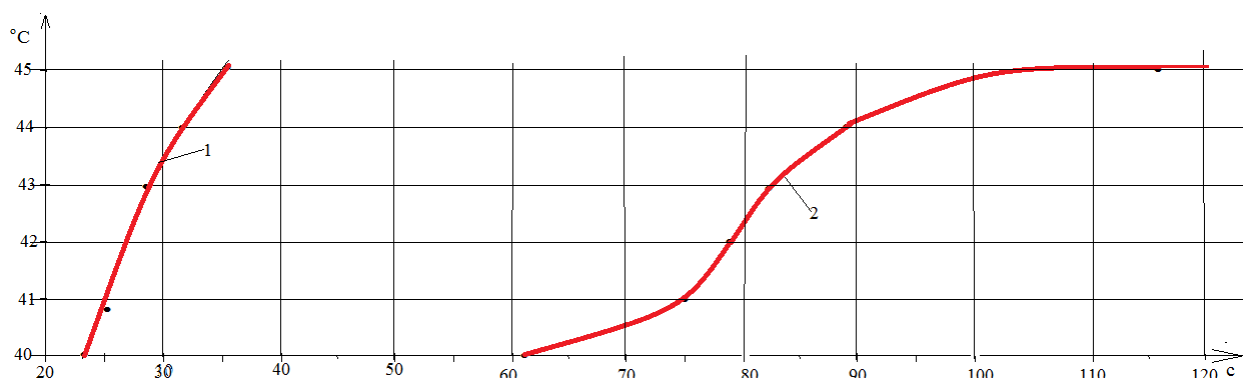


Рис.2. График изменения температуры стальной колодки во времени для случая сухого трения 1. Со смазкой трения 2.

Информация с термограммы считывается с помощью градуированной шкалы цветности рис.3 по основным цветам оптического спектра. Таких цветов 7 .

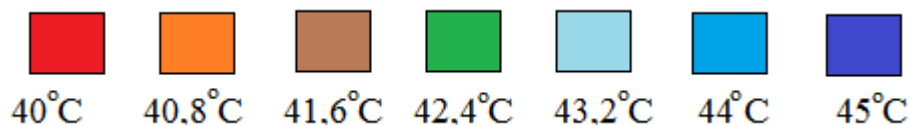


Рис.3. Градуированная шкала. 40°C-красный цвет, 40,8°C –оранжевый цвет, 41,6°C – коричневый цвет, 42,4°C – зелёный, 43,2°C –голубой, 44°C-синий, 45°C-ультрафиолет.



Рис.4

а. Градиентная термограмма сухого трения пары чугун-сталь за промежуток времени 56с. 1. Корпус с подвижным чугунным диском. 2. Рычаг с креплением для стальной колодки. 3. Стальная колодка. 4. Линейка. 5. Активная зона покрытая жидкими кристаллами. а, б – границы теплового поля красная изотерма.

б. Градиентная термограмма мокрого трения (автол) пары чугун-сталь за промежуток времени 132с. Где (а-б) активная зона, красная изотерма -40°C.

Из сопоставления термограмм и временного промежутка рис.б(а и б) можно отметить увеличение временного промежутка 2,35 раза. Что характеризует уменьшение силы трения в паре за счёт смазки. Определим работу, совершаемую в процессе взаимодействия пары считая, что сила трения

$$F_{mp} = \frac{1}{v} \frac{dA}{dt}, \quad (1)$$

где $\frac{dA}{dt}$ – мощность фрикционных потерь.

Преобразуем данное выражение

$$dA = F_{mp} V dt,$$

проинтегрируем левую и правую части уравнения. Получим

$$A = \int_0^t F_{тр} V dt = F_{mp} V t \quad \text{или}$$

$$A = F_{mp} V t, \quad (2)$$

где A – работа сил трения, V – скорость трущихся тел, t – время. $F_{тр}$ – сила трения скольжения.

Тогда для сухого трения

$$A = F_{mp} V t, \quad (3)$$

Для мокрого

$$A_1 = F_{mp1} V t_1, \quad (4)$$

Расчёт и отношение величин A и A_1 позволит провести количественный анализ фрикционных потерь.

Если,

$$C = \frac{A}{A_1} \quad (5)$$

то

$$C = \frac{F_{тр} V t}{F_{тр1} V t_1} \quad (6)$$

$$C = \frac{F_{тр} t}{F_{тр1} t_1}, \quad (7)$$

где C – коэффициент отношений фрикционных потерь сухого и со смазкой трения. Подставляем в (7) значения величин

$$C = \frac{k t}{k_1 t_1} = \frac{0,17 \cdot 56}{0,07 \cdot 132} = 1,030 \quad (8)$$

где для пары сталь-чугун в режиме сухого трения $k = 0,17$, время взаимодействия $t = 56c$, в режиме со смазкой трения для пары сталь-чугун $k_1 = 0,07$ при времени взаимодействия $t_1 = 132c$.

Таким образом, по градиентной термограмме мы отобразили тепловые поля, где количество тепла первого поля $Q_1 = C_v m (t_1 - t_2)$ и количество тепла

второго поля $Q_2 = C_v m(t_1 - t_2)$ при этом $Q_1 = Q_2$ или с учётом смещения отношение

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{204,12}{204,12} = 1, \quad (9)$$

Но для сухого трения Q_1 выделилось за время 56с со смазкой Q_2 за время 132 с, фрикционные потери одинаковы (8),(9). Таким образом, показана эффективность смазки.

Если воспользоваться выражение (8) можно по тепловому полю жидких кристаллов определять коэффициенты трения сухого контакта или мокрого. Например: на 22 с мы получили в режиме сухого трения термограмму области контакта рис.5 при этом $k = 0,17$ тогда для смазанного контакта $k_1 = 0,07$ время появления температурного поля 53,4с рис.5 а, б.

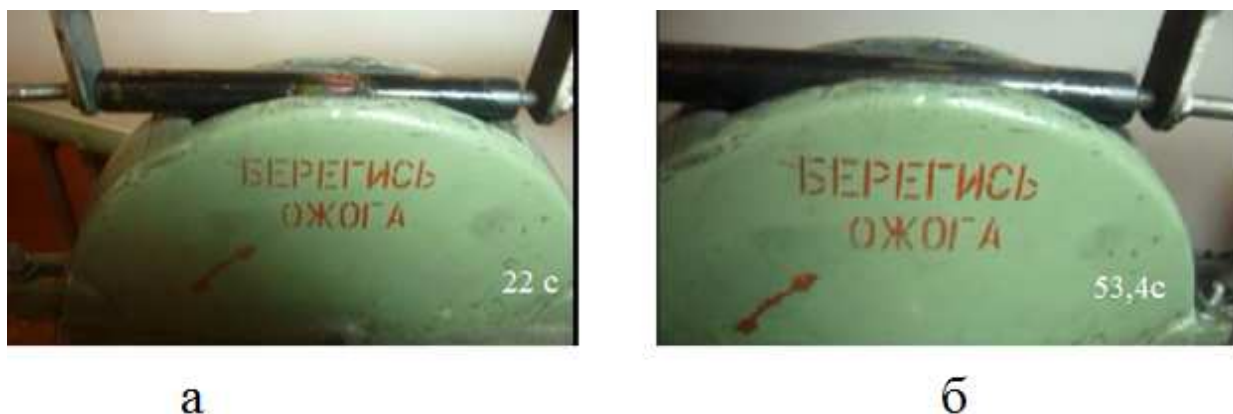


Рис.5. Термограммы для:

- а. Сухого трения 22с. б. Для со смазкой трения через 53,4с от начала процесса.

По аналогичной методике можно проанализировать пары металлов такие как сталь по стали, сталь по бронзе, бронза по бронзе и т.д.

Построим график временной зависимости отношения фрикционных потерь для значений времени при сухом t_1 и со смазкой t_2 трении при этом считаем, что мощности фрикционных потерь для каждой пары временных отрезков равны (рис.б)

Таблица 1

Таблица временных отношений пары металлов чугун-сталь при $k_1=0,18$ и $k_2=0,05$, $C=1$.

п/№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t_1 (с)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
t_2 (с)	36	72	108	144	180	216	252	288	324
10									
100									
360									

Таблица 2

Таблица временных отношений пары металлов чугун-сталь при $k_1=0,18$ и $k_2=0,15$, $C=1$.

п/№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t_1 (с)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
t_2 (с)	12	24	36	48	60	72	84	96	108
10									
100									
120									

На рис.6 представлена графическое отображение временных отношений при сухом и смазанном трении пары металлов чугун-сталь при $C=1$.

Таблица 4.

Таблица временных отношений пары металлов сталь-сталь для $k_1=0,15$ и $k_2=0,1$

п/№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t_1	10	20	30	40	50	60	70	80	90
t_2	15	30	45	60	75	90	105	120	135

п/№	10								
t_1	100								
t_2	150								

На рис.7 две прямые фиксируют область временных отношений в зависимости от типа смазки при $C=1$.

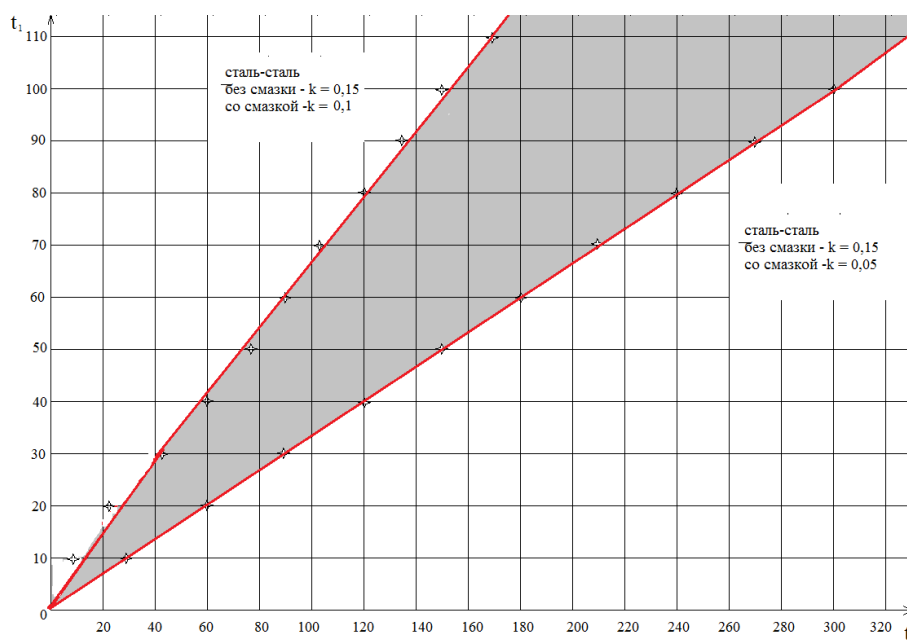


Рис.7. Графики временной зависимости фрикционных потерь для пары сталь-сталь при сухом трении $k_1 = 0,15$ и со смазкой $k_2 = (0,05- 0,1)$. Штрихованная область – активная зона зависящая от k_2 .

В данном случае тангенсы угла потерь лежит от $14^{\circ}00'$ до $18^{\circ}30'$

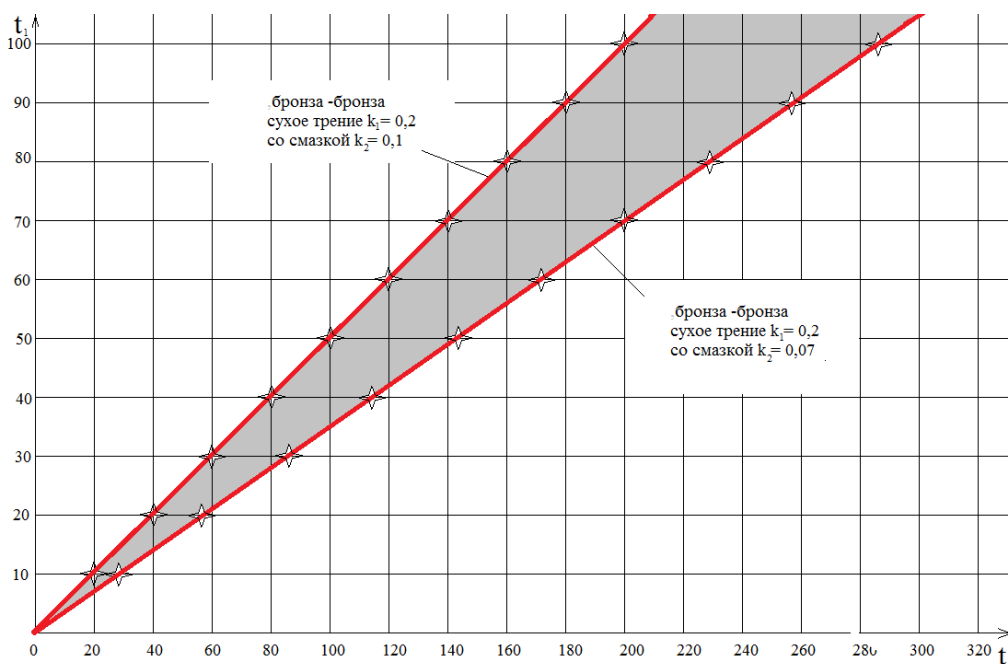


Рис.8. Графики временной зависимости фрикционных потерь для пары бронза-бронза при сухом трении $k_1 = 0,2$ и со смазкой $k_2 = (0,07- 0,1)$. Штрихованная область – активная зона зависящая от k_2 .

Тангенс угла потерь от $19^\circ 30'$ до $26^\circ 50'$.

Сталь –бронза (без смазки-0,10; со смазкой 0,07-0,10)

Таблица 6

Таблица временных отношений пары металлов сталь- бронза для $k_1=0,10$ и $k_2=0,07$ при $C=1$.

п/№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t_1	10	20	30	40	50	60	70	80	90
t_2	14,28	28,57	42,85	57,14	71,42	85,71	100	160	180

п/№	10								
t_1	100								
t_2	142,8								

Таблица 6

Таблица временных отношений пары металлов сталь - бронза для $k_1=0,1$ и $k_2=0,1$ при $C=1$.

П/№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t_1	10	20	30	40	50	60	70	80	90
t_2	10	20	30	40	50	60	70	80	90

П/№	10								
t_1	100								
t_2	100								

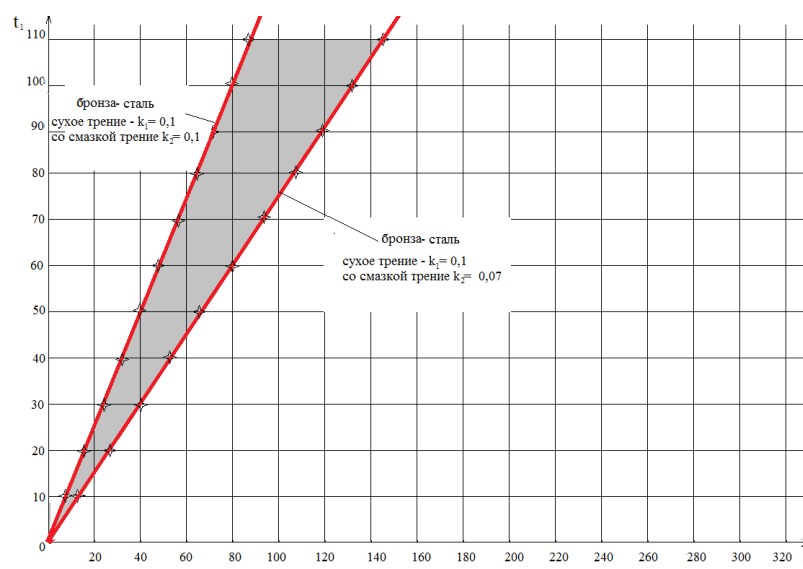


Рис. 9.График временных отношений пары металлов бронза-сталь при $C=1$.
Тангенс угла изменяется от $35^{\circ}40'$ до $45^{\circ}00'$.

Сталь мягкая сталь: без смазки 0,2; со смазкой 0,1-0,2 при $C=1$

Таблица 6

Таблица временных отношений пары металлов сталь – мягкая сталь для $k_1=0,2$ и $k_2=0,1$ при $C=1$.

П/№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t_1	10	20	30	40	50	60	70	80	90
t_2	20	40	60	80	100	120	140	160	180

П/№	10								
-----	----	--	--	--	--	--	--	--	--

t_1	100								
t_2	200								

Таблица 6

Таблица временных отношений пары металлов сталь – мягкая сталь для $k_1=0,2$ и $k_2=0,2$ при $C=1$.

п/№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t_1	10	20	30	40	50	60	70	80	90
t_2	10	20	30	40	50	60	70	80	90

п/№	10								
t_1	100								
t_2	100								

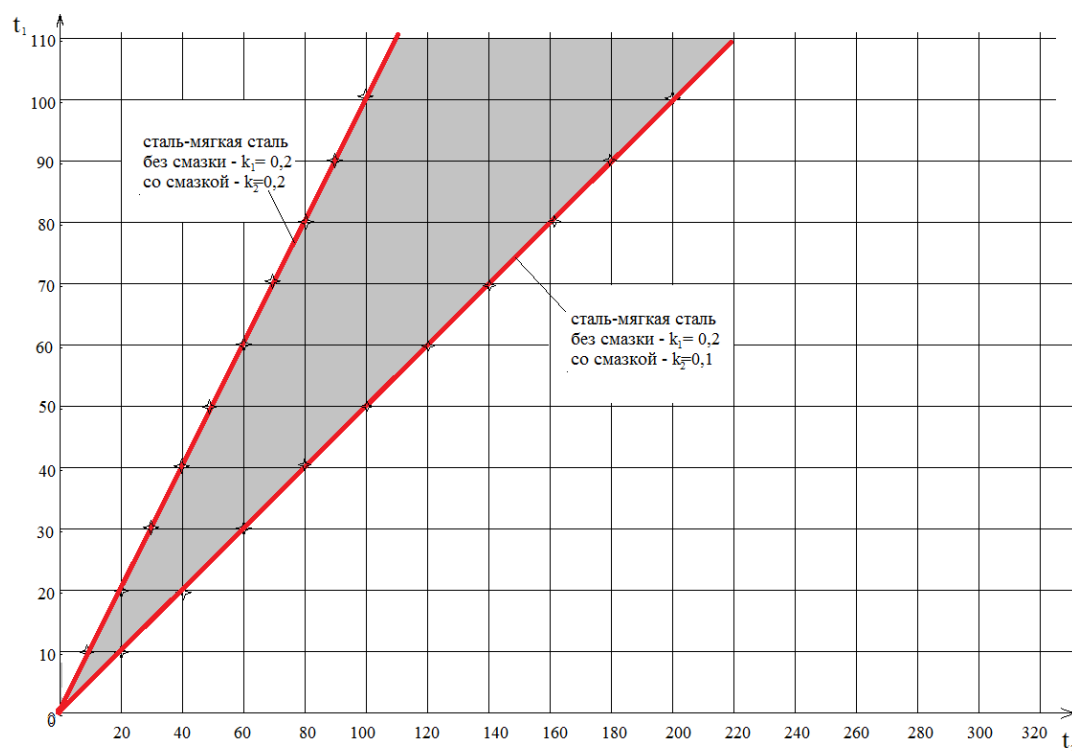


Рис. Рис. 10. График временных отношений пары металлов сталь-мягкая сталь при $C=1$.

Тангенс угла изменяется от $26^{\circ}50'$ до $45^{\circ}00'$.

Вывод по первой главе.

1. Определена группа термотропных жидкокристаллических веществ, для моделирования тепловых процессов в интервале от 18°C до 45°C. Такие как: жидкокристаллические термоиндикаторы с мезофазой 18-23°C, 23-27°C, 27-32°C – для температур от 40-45°C. Применения данных термоиндикаторов в большинстве случаев позволяет обойтись без температурного смещения от внешнего источника.
2. Отработана техника и методика применения жидких кристаллов для решения конкретной задачи.
3. Определена зона нагрева активного элемента её динамика во времени в зависимости от условий контакта пары чугуна – сталь.
4. Проведены количественные расчёты тепловых потерь в паре металлов для сухого и мокрого трения через временные отношения.
5. По предложенной методике полагая $C=1$ (отношение фрикционных потерь) можно рассчитать коэффициенты трения для любых взаимодействующих пар металлов по их градиентным температурным полям во времени сухого и мокрого контакта.

Литература.

1. П. де Жен, Физика жидких кристаллов. Изд. Мир, М. 1977., с. 400.
2. Блинов Л.М. Электро и магнитооптика жидких кристаллов. Изд. Наука. М., 1978, с. 384.
3. Пикин С.А. Структурные превращения в жидких кристаллах. Изд. Наука. М., 1981, с. 336.
4. J.L. Ferguson. Cholesteric structure. Optical properties. Mol. Crystals. Vol 1. P. 293-307. April. 1966.
5. Огастин, Кок. Голограммы СВЧ с использованием визуальной индукции поля в жидких кристаллах. /ТИИЭР. Т.57. №3. 1969. С. 112.
6. Штокман, Зарвин. Оптические плёночные датчики для радиоголографии. /ТИИЭР. Т.56, №5. 1968. С. 114-115.
7. Огастин. Визуальные наблюдения картины поля. /Электроника. Т.41, №12, 1968., с. 28-33.

8. Пикин С.А., Блинов Л.М. Жидкие кристаллы. Изд. Наука. М.,с.207.
9. Беляков В.А. Жидкие кристаллы. Изд.Знание.М.,с.159.