

Ы

# ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ

---

**Лабораторный практикум**



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

АМУРСКИЙ ГУМАНИТАРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ОГЛОБЛИН Г.В.

# ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ

Лабораторный практикум

Комсомольск – на - Амуре

2008

Печатается по решению редакционно-издательского совета Амурского гуманитарно-педагогического государственного университета и кафедры общетехнических дисциплин факультета технологии и дизайна АмГПГУ

ББК 31.2

Рецензенты: Стулов В.В. д.т.н., профессор, зам. директора по научной работе института Машиноведения ДВО РАН.

Федосенко В.Г. к. ф – м. н., доцент кафедры общей физики физико-математического факультета АмГПГУ.

Оглоблин Г.В. Жидкие кристаллы. Лабораторный практикум. Учебное пособие. Комсомольск – на - Амуре: Изд-во АмГПГУ, 2008 , с.

Книга предназначена для студентов факультетов технологии и дизайна в ней в доступной форме автор знакомит читателя с физикой жидких кристаллов их практическим применением в технике, моделируя различные эффекты в электрических, магнитных и тепловых полях на лабораторных установках.

О 22000000-009 Тем. План 2008 поз .....ББК 31.2  
379(08)-2008

©Оглоблин Г.В.,2008

© Издательство Амурского гуманитарно-педагогического государственного университета, 2008.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие

Глава 1.

Глава 2.

Глава 3.

Заключение

Библиография

## ПРЕДЕСЛОВИЕ

В 1888 году австрийский ботаник Рейнитцер при исследовании эфиров холестерина обнаружил, что исследуемое им вещество в определённом температурном интервале проявляет свойства как кристалла, так и жидкости. Такое поведение вещества показалось ему странным. Он сделал предположение, что полученное вещество это смесь двух веществ с различными свойствами, но провести кристаллографическую экспертизу ему не удалось. Он обратился за помощью к крупнейшему специалисту в области кристаллографии немецкому физику О. Леману. и выслал ему образец. Результаты анализа образца показали, что учёные имеют дело с особым веществом, которому в определённом температурном интервале присущи свойства кристалла и жидкости. Более того Рейнитцер получил чистое вещество – холестерилбензоат с мезофазой  $34^{\circ}$ . В интервале  $34^{\circ}$  вещество обладало анизотропными оптическими свойствами, характерные для одноосного кристалла.

Дальнейшие исследования О. Лемана привели к открытию целого ряда органических веществ обладающих жидкокристаллическим состоянием в определённом интервале температур. Всем этим веществам он дал название – жидкие кристаллы, а интервал, в котором проявлялись жидкокристаллические свойства, получил название мезофаза.

Кроме того О.Леман обнаружил, что определённые вещества обнаруживают жидкокристаллические свойства при растворении некоторых соединений.

Таким образом можно классифицировать жидкие кристаллы на термотропные (от греческого слова термо – нагреваю ) и лиотропные (от греческого слова лио - растворяю).

Интерес к жидким кристаллам в среде физиков и химиков в конце 19 и в начале 20 века был невелик, данное открытие не было востребовано обществом. Этот период можно охарактеризовать как «физико-химический»

изучались типы жидких кристаллов их свойства, структура и т.д. В этом плане интересны работы А.П. Капустина [1], И.Г. Чистякова [2], вопросам электрооптики и магнитооптики жидких кристаллов посвящена работа Л.М. Блинова [3]. Ж. Фридель во Франции предлагает первую классификацию жидких кристаллов, голландец С. Озен и чех Х Цохер создают теорию упругости, а советские физики В.К. Фредерикс и В.Н. Цветков в 30 – годах исследуют их необычные электрические и оптические свойства [4].

Такое положение дел продолжалось до 60 –х годов XX – столетия, когда американские инженеры при исследовании воздушного потока вокруг крыла самолёта использовали термотропные жидкие кристаллы холестерического типа. В 1963 году в США патентуются плёночные датчики на жидких кристаллах для регистрации ИК и СВЧ – излучений. С этого момента внимание физиков и инженеров обращено к жидким кристаллам к их практическому использованию в технике в области электронике. Наступило второе рождение жидких кристаллов благодаря исключительным свойствам плёнки холестерических жидких кристаллов на чёрной подложке и ячейки с плёнкой нематического жидкого кристалла между двух прозрачных проводящих электродов.

Появилась возможность создания весьма простых, компактных по своей конструкции и энергетической экономичности устройств отображения информации различных электронных приборов, изделий.

Данная работа отражает интерес автора в области лабораторного эксперимента на жидких кристаллах их практического применения в технике. С этой целью и разработан курс позволяющий, войти в технику и методику лабораторного эксперимента с жидкими кристаллами.

# 1. О жидких кристаллах

## 1.1. Основы физики жидких кристаллов.

Жидкий кристалл – это специфическое агрегатное состояние вещества, в котором оно проявляет одновременно свойства жидкости и кристалла. Таким свойством обладают некоторые органические вещества, дополнив шкалу агрегатных состояний до четырёх: *твёрдое или кристаллическое, жидкое, газообразное и жидко – кристаллическое* рис.1.1



Рис 1.1.

Это состояние проявляется при плавлении кристаллов некоторых веществ. В процессе плавления образуется промежуточная жидкокристаллическая фаза, которой присущи отмеченные выше свойства. Эта фаза существует в интервале от температуры плавления кристалла до некоторой более высокой температуры, при достижении которой кристалл переходит в обычную жидкость.

Исследованы пока три разновидности жидких кристаллов: холестерики (условное обозначение ХЖК), нематики (условное обозначение НЖК), смектики - СЖК. Приняты графические условные изображения рис 1.2.

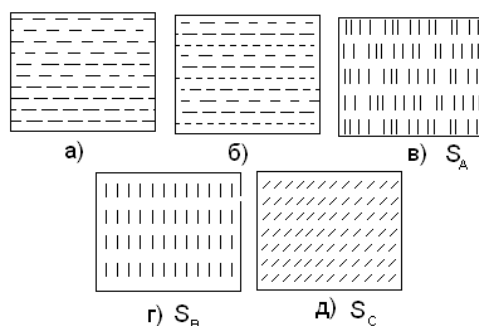
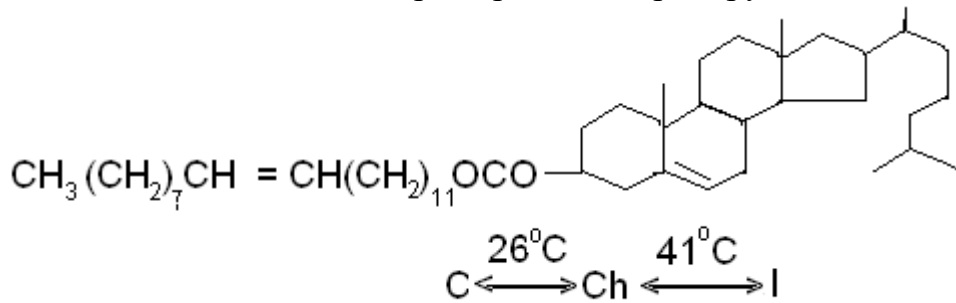


Рис.1.2.

а. Нематический. б. Холестерический. в. г. д. Смектический типа  $S$  -  $S_B$  -  $S_C$ .

*Холестерики* – жидкие кристаллы, обладающие необычными оптическими свойствами. Например: холестерилэрукат



Где Ch – мезофаза. До  $26^\circ\text{C}$  вещество **C** кристаллическое и бесцветно, после  $41^\circ\text{C}$  жидкость **I** – бесцветна, а в диапазоне **Ch** -  $26^\circ\text{C}$  -  $41^\circ\text{C}$  меняет свою окраску при отражении света. [3].

В данном веществе ориентация молекул по объёму периодически меняется от слоя к слою.

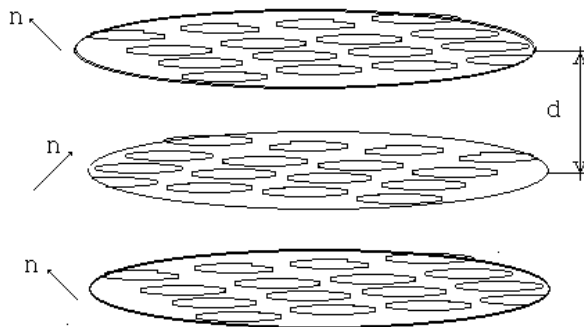


Рис.1.3. Модель холестерической спирали жидкокристаллического вещества,

Причём образованная холестерическая спираль имеет постоянную  $d$  такого же порядка, что и длина волны  $\lambda$  видимого света и очень зависит от температуры. Поскольку, величина шага спирали находится в диапазоне длин волн видимого света, то свет испытывает дифракцию на периодической структуре холестерика. Причём условия дифракции описываются соотношением Вульфа – Брегга

$$2 \sin\Theta = s\lambda / d,$$

где  $s$  – целое число,  $d$  – период структуры, а  $\Theta$  – угол между направлением падающего пучка света и плоскостью, перпендикулярной холестерической оси. В зависимости от  $d$  при освещении холестерика белым светом цвет дифракционно отраженного света будет определять окраску холестерика. Цвет окраски определяется длиной волны дифрагирующего света и углом его рассматривания. Если изменяется шаг спирали, то изменяется цвет отражённого света, что воспринимается как изменение окраски холестерика. Учитывая то, что постоянная  $d$  жидкого кристалла зависит от температуры, то и окраска его также зависит от температуры. Для правильного использования индикаторов на жидких кристаллах необходимо знать угловую зависимость



рассеивания падающего света. Так Фергансон предлагает выражение, в котором длина волны максимального отражения света является функцией угла при постоянной температуре:

$$\lambda' = \lambda_n \left[ \arcsin \left( \frac{n}{n'} \sin k \right) \right] \quad \text{где}$$

$\lambda'$  - длина волны максимального рассеивания;

$\lambda_n$  — **длина волны максимального рассеивания при нормальном падении наблюдения;**

$n$  – показатель преломления внешней среды;

$n'$  – показатель преломления жидкого кристалла /1,5/;

$k$ , - угол падения света;

$k$  – угол рассеивания /наблюдения/.

При изменении температуры жидких кристаллов длина волны  $\lambda'$  будет изменяться от инфракрасной до ультрафиолетовой области. Следовательно, окраска жидких кристаллов изменяется от красного до тёмно-синего цвета, так для холестерилэрукат это температурный интервал 26°C- 41°C Сопоставление цвета жидких кристаллов с температурой производится с помощью установки, блок –схема рис 1.4.

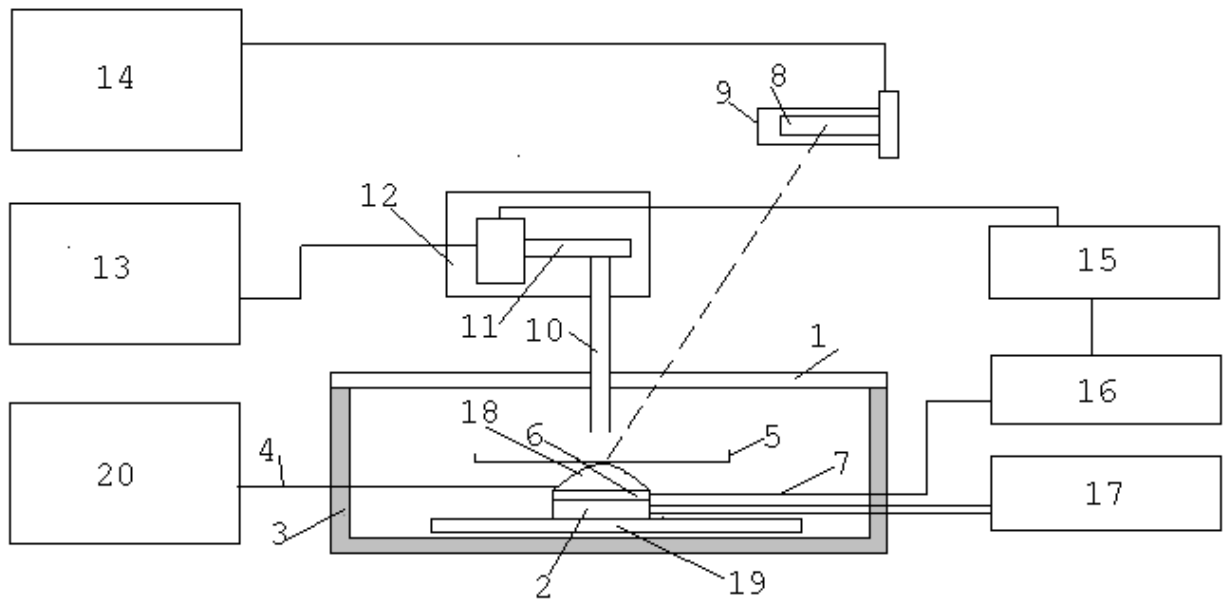


Рис.1-4

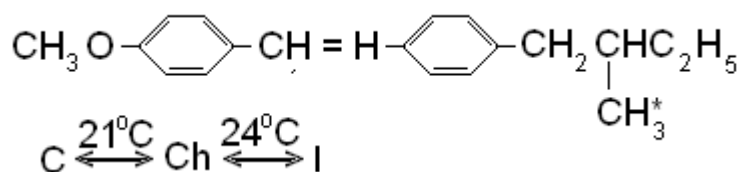
Блок – схема устройства для калибровки холестерических жидких кристаллов.

Где 1- плексигласовая крышка. 2- алюминиевый блок. 3- корпус. 4- термопара. 5 – майларовый ободок для крепления плёнки. 6 – термоэлемент. 7 – вывод термистора. 8 – спектральная лампа. 9 – экранировка спектральной лампы. 10 – световод. 11- фотоумножитель. 12 – экранировка фотоумножителя. 13 – питание фотоумножителя. 14 – питание спектральной лампы. 15 –

координатный самописец. 16 – мост сопротивлений. 17 – питание термоэлемента. 18 – образец. 19 – термоэлемент. 20 – потенциометр.

Освещая жидкие кристаллы монохроматическим светом, плавно изменяют температуру так, чтобы  $\lambda'$  в какой-то момент совпало с длиной волны источника света, тогда приёмный сигнал резко возрастает. Используя источник с несколькими линиями спектра, можно сопоставить длину волны  $\lambda'$  с температурой по максимумам приёмного сигнала фотоумножителя. В приведённой установке в качестве источника света используется ртутная лампа, в качестве реперных точек линии спектра 366; 404,6; 436; 546; 578 мкм. Строим график по оси абсцисс – волны, по оси ординат температура. Зная длину волны можно определить цвет холестерических жидких кристаллов. Так как они рассеивают свет избирательно в определённой полосе то добавочные цвета в них отсутствуют. Именно эта его особенность находит широкое практическое применение.

Кроме того к ХЖК относятся и оптически активные «хиральные» нематики, строение которых как НЖК. Например D (или L) – 4 – метоксибензилиден - 4' – (2 – метилбутил)анилин [3].



где С, Ch, I- обозначают соответственные фазовые переходы.

При разработке приборов на основе термотропных жидких кристаллов необходимо знать:

1.Что при цветовой окраски плёнки жидких кристаллов мы имеем дело только с основными цветами.

2.Теплоёмкость объекта должна быть больше теплоёмкости холестерических жидких кристаллов. Удельная теплоёмкость ХЖК 1,5 дж/

3.Размеры измеряемого объекта должны быть больше предельно разрешающей способности жидких кристаллов (~0,02мм).

4. Скорость изменения температуры должна быть не большой, так как постоянная времени изменения цвета жидких кристаллов 0,1- 0,2 сек.

5. Поверхность, на которую наносятся ХЖК, должна быть обезжирена, покрыта плёнкой не активной к воздействию жиров.

6. Поверхность должна быть чёрной.

7.Температура объекта не должна превышать пределы температур применяемых холестерических кристаллов.

Долговечность изделий на основе жидких кристаллов определяется качеством и способом их изготовления. ХЖК это всё же органические вещество и им присущи окислительные процессы они стареют, что влияет на качество их работы. Данная проблема решается с помощью:

1. Введение атиаксидантов и фотоаксидантов.
2. Герметизации рабочих ячеек.
3. Микрокапсулирование.

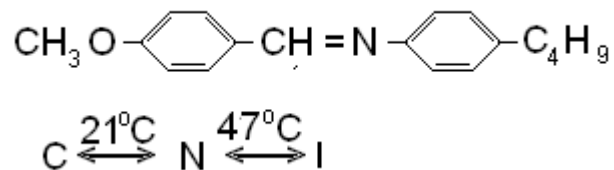
Наиболее эффективным методом является герметизация ячеек с жидкими кристаллами между двух прозрачных плёнок, стёкол. Калибровка слоя жидких кристаллов осуществляется с помощью прокладок или мелкой чёрной сетки уложенной на нижнюю плёнку или стекло. Края плёнок или стёкол заклеивают клеем, герметиком, эпоксидными смолами.

Способ микрокапсулирования заключается в следующем: в водяную баню помещают желатин, залитый водой с добавлением жидких кристаллов. Через не сколько часов периодического перемешивания желатина и жидких кристаллов процесс микрокапсулирования закончен. В результате получают желеобразную массу, в которой каждая капля жидких кристаллов покрыта желатином. Однако, такой метод не является оптимальным, так как окислительным процессам подвержен и желатин.

*Нематические* жидкие кристаллы (НЖК) характеризуются дальним ориентационным порядком и полной свободой перемещения центров тяжести отдельных молекул в пространстве. НЖК представляет собой оптически одноосную среду, кристаллографическая структура которой неполярна, т.е. направления концов молекул имеют равновероятное распределение. Молекулы вращаются как вокруг длинной так и короткой оси.

Внешним воздействием можно создать однородную ориентацию молекулярных осей по всему образцу в целом, получив, таким образом жидкий монокристалл. Например: жидкокристаллическая оптическая ячейка состоящая из двух стеклянных пластин с прозрачными электродами и слоя жидкого кристалла порядка 10 – 100 мкм между ними. Ориентация молекул жидких кристаллов задаётся механическим путём.

Примером НЖК может служить 4- метоксибензилиден-4-бутиланилин (МБА)



Где С, N, I – обозначают кристаллографическую, нематическую и изотропную фазы.

Кроме этого, большинство применений жидких кристаллов связано с их управляемостью с помощью электрически и магнитных воздействий. Минимальные энергетические затраты, габариты, лёгкость в управлении делают их внедрение в практику весьма перспективным. Поэтому для разработчиков ЖК- устройств необходимо хорошо знать электрические свойства жидких кристаллов [3].

В данном лабораторном практикуме мы будем работать в основном с нематическими и холестерическими жидкими кристаллами поэтому смектические жидкие кристаллы не рассматриваем. Промышленным

производством освоены технологии получения жидкокристаллических материалов нематического и холестерического типов в ассортименте, позволяющим удовлетворить все основные потребности.

В таблице 1 показаны некоторые освоенные производством: жидкокристаллические материалы нематического и холестерического типа. В практике принято обозначать нематические кристаллы заглавной буквой Н, холестерические заглавной буквой Х. Цифра указывает на номер разработки.

Таблица 1

## Жидкокристаллические материалы

№№ п/п	Жидкокристаллические материалы	Температурные переходы °С предусмотренные ТУ	
		В жидкокристаллическое состояние	В изотропную жидкость
1	2	3	4
Жидкокристаллические материалы нематического типа			
АЗОМЕТИНЫ			
1	4-Метоксибензилиден 4'-Н-Бутиланилин (Н-1)	20-22	Не ниже 42
2	4-Этоксibenзилиден-4'-Н- Бутиланилин (Н-3)	35,5-36,5	Не ниже 77,5
3	Эвтектическая смесь Н-1 и Н-3	Не выше (-10)	54-59
4	Смесь Н-1 и Н-3-1:1 (Н-37)	Не выше (-5)	54-64
5	п-Метоксибензилиден-п`- толуидин (Н-15)	Не выше (-5)	90,5-93,5
6	п-Этоксibenзилиден -п`-толуидин (Н16)	Не выше (-5)	94-96,5
7	п-Пропоксибензилиден-п`- толуидин (Н-17)	Не выше(-5)	64-68
8	п-Бутоксибензилиден-п`- толуидин (37)	63,5-66	69-72`
9	п-Амилоксибензилиден-п`- толуидин (Н-38)	Не ниже 59	69-72
10	п-Гексилоксибензилиден- п`-тулоидин (Н-39)	56-59	71-74
11	п-Гептилоксибензилиден-п`- толуидин (Н-56)	Не ниже 68	Не выше 74
12	п-Октилоксибензилиден-п`- толуидин (Н-57)	67-72	74,5-78,5

13	п-Нонилоксибензилиден-п`-толуидин (Н-58)	Не ниже 72	Не выше 78
14	П-Децилоксибензилиден-п`-толуидин (Н-59)	66-70	77-81
15	Анисальдазин (Н-10)	168-172	182-185
<b>АЗОКСИ-СОЕДИНЕНИЯ</b>			
16	4,4`-азоксианизол (Н-4)	Не ниже 116	Не ниже 132
17	4,4-азоксифенетол (Н-2)	133-136	164-167
18	Эвтектическая смесь Н-4 и Н-2 (Н-5)	Не ниже 96	Не ниже 143
<b>п-АЛКОКСИБЕНЗОЙНЫЕ КИСЛОТЫ</b>			
19	п-Пропоксибензойная кислота (Н-11)	143-146,6	153-155,5
20	п-Бутилоксибензойная кислота (Н-9)	144,5-147	159-162
21	п-Амилоксибензойная кислота (Н-12)	121,5-124,5	147-151
22	п-Гексилоксибензойная кислота (Н-13)	102,5-106,5	148,5-153
23	п-Гептилоксибензойная кислота (Н-7)	Не ниже 91	Не ниже 143
24	п-Октилоксибензойная кислота (Н-24)	98-102	144-148
25	п-Нонилоксибензойная кислота (Н-25)	90-94	139-143
26	п-Децилоксибензойная кислота	-	-
<b>ЭФИРЫ п-АЛКОКСИБЕНЗОЙНЫХ КИСЛОТ И ГИДРОХИНОНА</b>			
27	1,4-Фенилен-бис(4`-п-гептилоксибензоат) (Н-6)	Не ниже 120	Не ниже 195
28	1,4-Фенилен-бис(4`-п-гексилоксибензоат) (гидрохинон-бис) (п-гексилоксибензоат) (Н-33)	121-125	209-213
<b>АЗОКСИ-СОЕДИНЕНИЯ</b>			
1	п-н-Бутил-п`-метоксиазоксибензол (Н-18)	16-20	Не ниже 65,5
2	п-Этил-п`-метоксиазоксибензол (Н-19)	36-38	Не ниже 69
3	Эвтектическая смесь Н-18 и Н-19 (Н-20)	-5	Не ниже 69
4	4,4`-Ди – (пропилокси)-азоксибензол (Н29)	111-115	121-125
5	4,4`-Ди – (бутилокси)-азоксибензол (Н-30)	98-103	134-137
6	4,4`-Ди – (амилокси) – азоксибензол (Н-35)	74-77	120-124

7	4,4`- Ди - (гексилокси) – азоксибензол (Н-31)	78,5-82,5	125,5-129,5
8	4,4`-Ди - (гептилокси) – азоксибензол (Н-14)	92-96	120-125
9	4,4`- Ди – (октилокси) – азоксибензол (Н-41)	75-80	123,5-127
10	4,4`- Ди – (нонилокси) – азоксибензол (Н-42)	74-78	120-124
11	4,4`- Ди – (децилокси) – азоксибензол (Н-43)	74,5-78,5	Не ниже 120
12	4,4` - Метокси-этокси-азоксибензол	96-98,3	145,2-147,5
КИСЛОТЫ			
13	п- Додeciлоксибензойная кислота (Н-27)	92-95	136-139,5
14	П-Цетилоксибензойная кислота	98-101	130-134
15	П-Цетилбензойная кислота	98-102	112-116
ЭФИРЫ			
16	п-Гексилоксифениловый эфир п-бутилбензойной кислоты	27,5-30,5	49,5-52,5
17	н-Бутил-п-(п-гексилоксифенилоксикарбонил) –фенилкарбонат (Н-22)	42,5-45,5	Не ниже 75
18	Н-Бутил-п-(п-этоксифенилоксикарбонил)-фенилкарбонат (Н-23)	62-66	79,5-82,5
19	Гидрохинон-бис-(п-октилоксибензоат) (Н-34)	118,5-122,5	191,5-195,5
20	Гидрохинон-бис-(п-нонилоксибензоат) (Н-50)	126-130	182-187
21	Гидрохинон-бис-(п-децилоксибензоат) (Н-51)	122-127	Не ниже 179
22	Гидрохинон-бис-(п-додeciлоксибензоат) (Н-53)	105-109	168-172
Жидкокристаллические материалы холестерического типа освоенные производством:			
1	Холестерилформиат (Х-19)	60-63	93-99
2	Холестерилацетат (Х-3)	60-63	111-116
3	Холестерилпропионат (Х-10)	93,5-97	111,5-114
4	Холестерилбутират (Х-9)	97-100,5	107,5-111
5	Холестерилвалерат (Х-4)	88-92	Не ниже 95

6	Холестерилкапронат (X-11)	100-93	Не ниже 95
7	Холестерилэнантат (X-12)	100-93	Не ниже 109
8	Холестерилкаприлат (X-6)	100-93	106-109
9	Холестерилпеларгонат (X-17)	77-79	Не ниже 87
10	Холестерилкапринат (X-5)	81-85	Не ниже 88
11	Холестерилундецилат (X-18)	81-85	90-93
12	Холестериллаурат (X-8)	81-85	90-93
13	Холестерилтридецилат (X-20)	60-64	80-84
14	Холестерилмирилат (X-15)	69,5—72,5	82,5-84,5
15	Холестерилпентадецилат (X-28)	68-72	80-84
16	Холестерилпальмитат (X-2)	Не ниже 70	80-86
17	Холестерилстеарат (X-7)	Не ниже 70	76-86
18	Холестерилолеат (X-16)	Жидкокрис.	76-86
19	Холестерилбензоат (X-1)	145,5-148,5	175,5-179
20	Холестерил-п-нитробензоат (X-14)	185-189,5	Не ниже 235
21	Холестерил-п-метилбензоат (X-22)	178-182	Не ниже 230
22	Холестерил-п-бутилбензоат (X-40)	125-129	Не ниже 210
23	Холестерил-о-бромбензоат (X-23)	103,5-107,5	132-136
24	Холестерил-п-бромбензоат (X-24)	174-178	Не ниже 230
25	Холестерил-о-хлорбензоат (X-29)	104,5-108,5	Не ниже 144
26	Холестерил-п-хлорбензоат (X-29)	166-170	Не ниже 200
27	Холестерил-п-метоксибензоат (X-30)	175-179	Не ниже 250
28	Холестерил-п-гексилоксибензоат (X-35)	146-150	Не ниже 220
29	Холестерил-п-октилоксибензоат (X-37)	133,5-137,5	Не ниже 200
30	Холестерилциннамат (X-13)	Не ниже 156	Не ниже 197
31	Холестерил-п-нитроциннамат	169-173	240-244

	(X-20)		
32	Холестерилхлорид (X-26)	169-173	Не ниже 94

Перечисленные выше жидкокристаллические материалы отпускаются в мелких фасовках (5 – 100 гр.).

## Глава 11 Проектирование ЖК - устройств обработки информации.

### 2.1.Проект: Исследование физических свойств жидких кристаллов.

#### Краткое описание проекта

Характеристика потребности	Сущность проекта
При разработке компактных устройств отображения информации используются вещества обладающие жидкокристаллическим состоянием в определённом температурном диапазоне. В этой связи требуется классифицировать предложенные жидкие кристаллы по мезофазе, двойному лучепреломлению.	Данный проект выполняется с целью изучения свойств жидких кристаллов и их реализации в технических устройствах. Для исследования температурной зависимости исследуемого вещества необходимо разработать лабораторную установку по исследованию предложенных образцов. Наличие двойного лучепреломления света в кристалле в промежуточной фазе – жидкий кристалл.
	Краткая формулировка задачи
	Спроектировать и собрать лабораторную установку для исследования жк-веществ.
	Оборудование, комплектующие
	Результат проекта
	Протокол исследований
	Самооценка
	Недостатки
	Трудности в работе
	Экономическая оценка



	Отчёт по форме
--	----------------

### Планирование проекта

Проект: Исследование физических свойств жидких кристаллов	Компоненты проекта на которых концентрируется особое внимание: 1. Проведение исследований литературных источников. 2. Анализ информации о физике жидких кристаллах в Интернете. 3. Выбор прототипа лабораторной установки. 4. Отработка технологических операций по сборке установки. 5. Выработка методики исследований
Количество часов: 4	Группа: ТиД 21.22
Запуск проекта	На выбор: 1. Просмотр сайта по жидким кристаллам в Интернете. 2. Пригласить на занятие специалиста по ЖК-кристаллам. 3. Лекция обзор по жидким кристаллам.
Межпредметные связи:	Физика, математика, химия, радиоэлектроника, электротехника.
Новая терминология	Жидкий кристалл, нематический, холестерический, смектический, оптическая ячейка.
Материалы и оборудование	Микроскоп, мармит, образцы жидких кристаллов, покровные стёкла, поляроиды

### Организация процесса обучения.

Формирование навыков и знаний			Практическая деятельность учащихся		
Проектирование	Изготовление	Знания, навыки	Исследовательская деятельность	Упражнения	
				До изготовления изделия	Во время изготовления изделия
1. Определение потребности. 2. Техническое задание.	1 Разметка	1. Графическая грамотность	1. Ознакомление с простейшими способами конструирования с использованием литературы	1. Графические упражнения	1. Разметка
2. Перечень критериев, которыми должно соответствовать разрабатываемое изделие.	2. Элементы установки	2. Назначение узлов установки.	2. Поиск вариантов установки	2. Знакомство с методикой проведения исследования и постановкой экспериментов по определению свойств жидких	2. Сборка установки

				кристаллов	
3. Технично-экономическое обоснование исследования. 4. Смета (ст.расходов)	3.Пути реализации сметы. Ст. оборудование Материалы, комплектующие.	3.Оборудование, принципы работы узлов установки.	3.Виртуальный вариант исследования установки и его анализ	3.Эксперименты	3.Отработка Методик исследования.

### Планировании

№ Этапа	Процесс выполнения проекта	Деятельность учителя	Деятельность учащегося		Материальное обеспечение	
			На уроке	дома	наглядность	Материалы, оборудование
1	2	3	4	5	6	7
1	Информационный поиск по физическим свойствам жидких кристаллов.	Обзор литературных источников по теме	Работа в Интернете. Обзор по материалам поиска.	Работа в библиотеке, читальном зале по теме исследования. Обзор по материалом поиска.	Установка. Образцы жидких кристаллов	Оборудование и узлы установки. Жидкие кристаллы.
2	Выработка методики исследования образцов жидких кристаллов	Расширение знаний учащихся и способов исследования жидких кристаллов.. Выбор критериев оценки качества исследования	Оформление протокола исследования Составления индивидуального перечня критериев к своему проекту.	Анализ качества полученных результатов. Оценка погрешности проведённых исследований	Сравнение полученных результатов с табличными Приборное обеспечение установки	Жидкие кристаллы. Термоиндикаторы на основе жидких кристаллов.
3	Выработка лучшей методики исследования	Коллективное обсуждение учащимися различных предложений, учитывая предложенные критерии и погрешности измерений.	Выбор лучшей идеи. Обоснование выбора. Эскизирование установки и блок-схем исследования.	Проработка плана проведения исследования	Знакомство с установками ранних исследований по литературным источникам	Оценка применяемых приборов
4	Планирование работы	Определение сроков завершения работы	Оформление отчёта	Обработка графической части отчёта	Знакомство с отчётами и требованиями предъявляемыми к ним при их оформлении	оргтехника
5	Проведение исследований	Консультации в процессе выполнения работы	Протокол исследования с результатами	Обработка протокола исследований	Сравнительный анализ результатов с табличными	Справочная литература
6	Создание рекламы и товарного знака	Показ различных рекламных	Создание рекламного знака для своего	Подготовка к защите отчёта - проекта	Отчёты всех участников эксперимента	Бумага, краски, оргтехника

		проспектов и товарных знаков	изделия			
7.	Оценка выполненной работы	Организация дискуссии по вопросам Что показалось неудачным? Что необходимо изменить?	Внесение в отчёт результатов оценки	Окончательное оформление графической части отчёта в соответствии с ГОСтом.	Выставка Изделий установок Отчётов.	

## Выполнение проекта

### Потребность

При разработке компактных устройств отображения информации используются вещества обладающие жидкокристаллическим состоянием в определённом температурном диапазоне. В этой связи требуется классифицировать предложенные жидкие кристаллы по мезофазе, двойному лучепреломлению.

### Краткая формулировка задачи

Провести исследование веществ на наличие у них промежуточной фазы в пределах которой вещество обладает одновременно как жидким так и кристаллическим состоянием.

## Анализ задачи

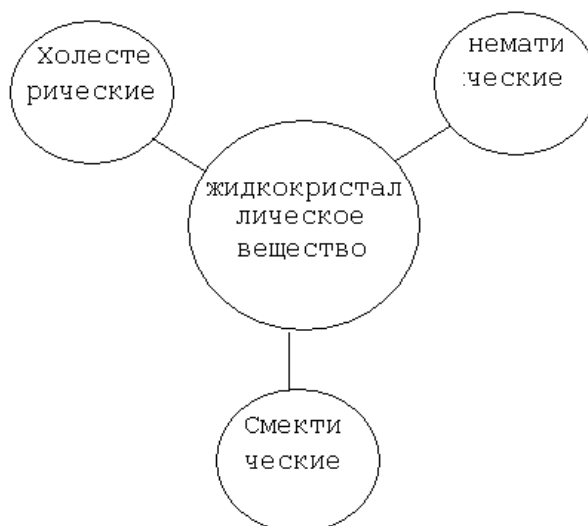
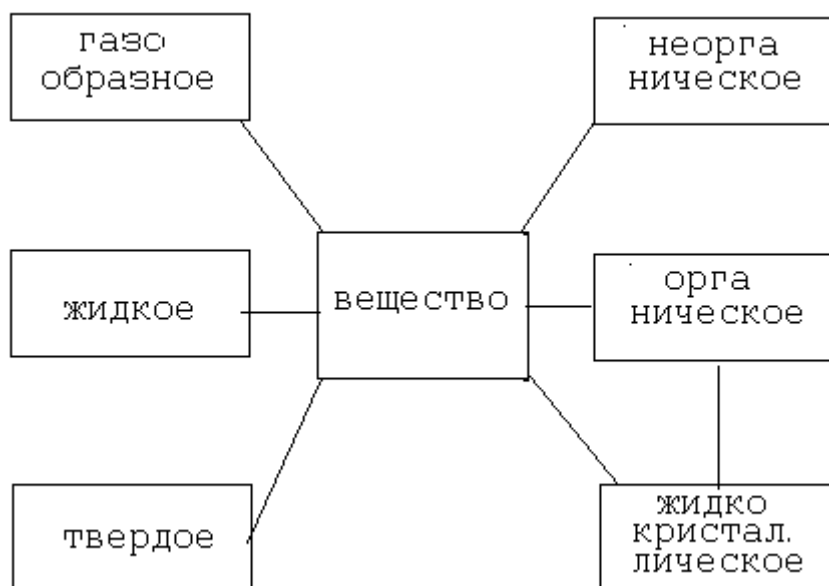


Рис. 2.1.

## Упражнение 16

Например, можно продемонстрировать действие плёночного термометра.

Устройство такого термометра просто: на чёрную полиэтиленовую плёнку шириной 50 мм и длиной 150 мм наносят слой жидкого кристалла, с мезофазой 23-28°C. Концы плёнки склеивают липкой лентой, чтобы получился цилиндр, который плотно надевают на стеклянный цилиндрический сосуд. Далее градуируют получившийся прибор. Наливают в сосуд воду, имеющую температуру 30°C, и опускают в него обычный термометр для контроля за температурой.

Наблюдая плёнку в рассеянном белом свете (примерно в направлении радиуса сосуда), замечают, что она приобрела фиолетовую окраску. По мере охлаждения воды её окраска меняется: становится синей, зелёной, желтой, оранжевой, красной (при 23°C). Сопоставляют цвет плёнки с температурой. (Опыт следует проводить медленно, добиваясь теплового равновесия подогретой воды, сосуда, термоплёнки).

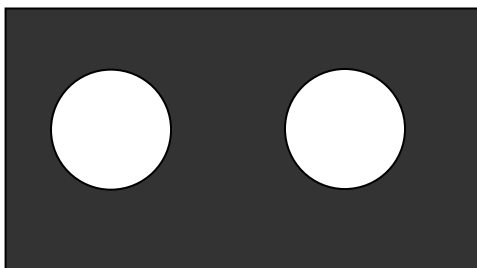


### Упражнение 17

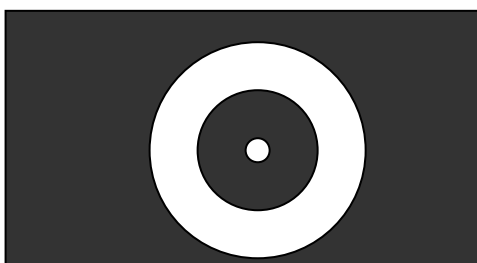
Для пространственного отображения электростатического поля у электродов различной конфигурации предлагается изготовить детектор, состоящий из двух стеклянных пластин размером 15x18 см, между которыми находится равномерный слой жидких кристаллов холестерического типа с рабочим интервалом температур 23=28°C. Края пластин нужно окантовать клейкой лентой, а к одной из них (по периметру) приклеивается лист электропроводной бумаги (обязательно



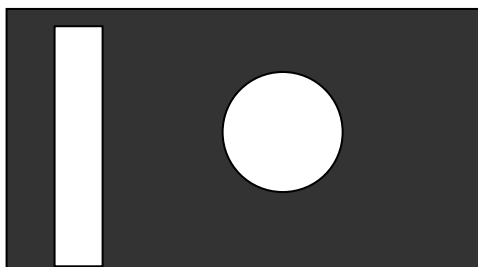
а. Схема распределения электростатического поля плоских электродов;



б. Схема распределения электростатического поля точечных электродов;



в. Схема распределения электростатического поля в коаксиале;



г. Схема распределения электростатического поля между плоским и круглым электродами.

Рис. 1. 34 (а, б, в, г). Схемы демонстрации электростатических полей у электродов различной формы

чёрного цвета). Электроды можно вырезать из алюминиевой фольги и приклеить их к электропроводной бумаге на расстоянии  $\sim 10$  см друг от друга смесью из эпоксидной смолы и графита в соотношении 1:5. На электроды следует подать постоянное напряжение  $\sim 50-60$ В от регулируемого выхода ВУП-2. При прохождении тока (5-10 мА) электропроводная бумага нагревается, что приводит к изменению окраски жидких кристаллов в области прохождения тока. Таким образом, можно осуществить многократный показ

распределения электрического поля у электродов различной формы: плоских, конических, сферических, коаксиальных и т.д. (рис. 1. 34 а, б, в, г).

### Упражнение 18

Дана медная лента шириной 50 мм и длиной 300 мм. Концы ленты подогреваются при температурах  $23^{\circ}\text{C}$  и  $28^{\circ}\text{C}$ . Необходимо исследовать температурный градиент вдоль ленты.

Для этого ленту зачернить (чёрный фон – одно из условий работы с холестерическими кристаллами) лаком или олифой, которую после нанесения необходимо прогреть до чёрного цвета. В опыте используются промышленные термоиндикаторы холестерического типа с мезофазой  $23^{\circ}\text{C}$  -  $28^{\circ}\text{C}$ . Опыт проводят согласно рис. 1.35.



### Рис. 1. 35. Исследование температурного градиента:

а. Подогрев концов ленты до  $23^{\circ}\text{C}$ , центра – до  $28^{\circ}\text{C}$ . Перенос тепла одновременно в обе стороны;

б. Подогрев концов ленты до  $23^{\circ}\text{C}$  и  $26^{\circ}\text{C}$ , центра – до  $28^{\circ}\text{C}$ . Перенос тепла сначала к  $26^{\circ}\text{C}$ , а затем к  $23^{\circ}\text{C}$ ;

г. Подогрев концов ленты до  $23^{\circ}\text{C}$  и  $28^{\circ}\text{C}$ . Перенос тепла от большего к меньшему.

Эффект переноса тепла на ленте наблюдаем по цветной окраске жидких кристаллов. Красный ( $23^{\circ}\text{C}$ ) – низкая температура, фиолетовый ( $28^{\circ}\text{C}$ ) – высокая температура, остальные цвета в интервале между  $23^{\circ}\text{C}$  и  $28^{\circ}\text{C}$ , но только основные.

### Упражнение 19

Для анализа отражательной и поглощающей способностей материала проведём качественный эксперимент, для чего необходимы

жидкокристаллический термоиндикатор на температуры  $23^{\circ}\text{C}$  -  $28^{\circ}\text{C}$  или  $18^{\circ}\text{C}$ -  $23^{\circ}\text{C}$ , экран из чёрной полиэтиленовой плёнки толщиной 200 мкм и диаметром 100 мм. Поверхность экрана, на которую падает излучение, делят на две части так, чтобы одна часть оставалась черной, а другая перекрывалась тем материалом, который исследуется (белая краска). На поверхность, с которой считывается информация, наносят жидкие кристаллы. Облучаем наш индикатор с помощью оптического фонаря. Результат отображается в виде цветовой картины на плоскости экрана покрытом жидкими кристаллами (рис. 1. 36).

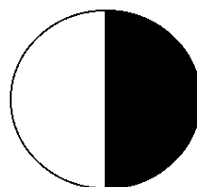


Рис. 1. 36. Вид экрана, обращенного к исследователю во время проведения эксперимента.

#### Упражнение 20

С помощью жидких кристаллов можно провести качественное исследование распределения энергии в спектре. С помощью призмы получаем спектр дуги или мощной лампы накаливания на экране, покрытом жидким кристаллом. В области инфракрасной части спектра отмечаем изменение окраски жидких кристаллов.

#### Упражнение 21

Наиболее эффектны опыты с жидкими кристаллами при исследовании температуры объекта контактным способом. Так, если к поверхности экрана (упражнение 18), на которую падает излучение, прикоснуться ладонью, то мы получим термографию ладони. Вместо ладони может быть исследован любой другой объект.

#### Упражнение 22

Жидкие кристаллы - оптически активные вещества, для них характерным является вращение плоскости поляризации колебаний линейно-поляризованного света. Упражнение проводится по классической схеме с использованием оптического фонаря, двух поляроидов и плоской стеклянной капсулы с жидким кристаллом холестерического или нематического типов, экрана. Проецируем световой пучок на экран. Между конденсором и объективом устанавливаем два поляроида так, чтобы их оптические оси были скрещены. Световое пятно на экране становится тёмным. Вносим между поляроидами капсулу с жидкими кристаллами – пятно от фонаря на экране светлеет (рис. 1.37).



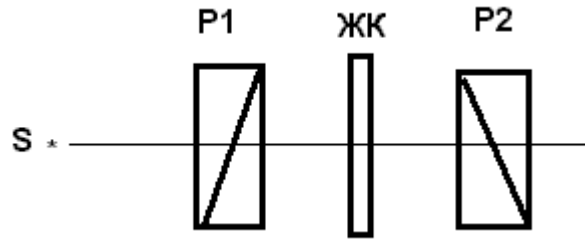


Рис.1. 37. Схема опыта с поляризованным светом и жидкими кристаллами:

S - источник света. P1 – поляризатор. P2 – поляризатор. ЖК – капсула с жидкими кристаллами

### Упражнение 23

*Нематики* - это молекулы, образующие жидкие кристаллы, представляют собой типичные для органических веществ образования со сравнительно большим молекулярным весом, протяжённости которых в одном направлении в 2–3 раза больше, чем в поперечном. Можно считать, что молекулы типичного нематика вытянутой (нема – это по - гречески «нить») формы, ориентированные одинаково по всему объёму, хотя центры тяжести нитей расположены и движутся хаотично. Для того, чтобы получить однодоменный образец нематика, необходимо принятие специальных мер. Такими мерами могут быть либо поверхностные силы, задающие определённую ориентацию молекул на поверхностях, ограничивающих нематик, которые в свою очередь индуцируют за счёт межмолекулярных взаимодействий соответствующую ориентацию молекул в объёме, либо внешние поля (электрические), ориентирующие однородным образом молекулы сразу во всём объёме. Практика показывает, что однородной ориентации молекул нематика легче добиться в тонких слоях ограниченных стеклянными пластинами. Причём поверхности пластин натирают в одном направлении бумагой или шерстью, создавая таким образом микророзетки, задающие первоначальную ориентацию молекул жидкого кристалла. Зазор между пластинами от 10-100 мкм. Для создания электрического поля в нематике на стеклянные пластины наносятся прозрачные электроды из окиси олова ( $\text{SnO}_2$ ). Однородно ориентированные слои нематика в случае осей молекул параллельных поверхностям пластин, принято называть *планарной* текстурой, а в случае осей молекул, перпендикулярных поверхностям, - *гомеотропной* текстурой. Наложением электрического поля осуществляется переход от планарной структуры в гомеотропную и обратно. Таким образом, можно отображать информацию.

### Упражнение 24

В технике для фиксации лазерного луча в пространстве применяют датчики положения в виде непрозрачных, полупрозрачных, и диафрагмированных экранов, что снижает точность отсчёта при переходе от

одной реперной точки к другой из-за механических перемещений и ослабления светового потока.

Точность измерений можно значительно повысить, если в качестве проходного датчика использовать жидкокристаллические ячейки, работающие в режиме динамического рассеяния. В отличие от вышеперечисленных датчиков ЖК-датчик изменяет свою светопропускную способность в зависимости от поданного на него напряжения. Устройство пассивного ЖК-датчика приведено на рис. 1.38.

ЖК-ячейка выполнена из оконного стекла толщиной 2 мм, размером 30 х 30 мм, герметизирована высокотемпературной сваркой стекла с полиэтиленом толщиной 100 мкм. Проводящие электроды наносятся на стекло (размер 30 х 30 мм) пиролизным методом в муфельной печи при температуре 300° - 400° С. Напыляется примерно 5 – 6 атомных слоёв. Время напыления определяется экспериментально. Рассмотренные в упражнениях датчики разработаны автором на кафедре МПОТД и Т Комсомольского-на-Амуре государственного педагогического университета.

#### Упражнение 25

Приведенный выше датчик можно использовать в качестве оптического затвора для управления лазерным лучом в режиме отсечки и пропускания. В отличие от известных оптических затворов на эффектах Керра и Поккельса он работает на эффекте динамического рассеяния жидких кристаллов.

Схематично оптический затвор выполнен аналогично (рис. 1.38). При отсутствии напряжения луч лазера проходит через окно диаметром 18 мм. При этом энергетические коэффициенты составляют  $R + A + T = 1$ , где  $R = 0,07$  – отражения,  $A = 0,18$  – поглощения,  $T = 0,75$  – пропускания. При наложении электрического поля в ячейке возникает эффект динамического рассеяния, и она срабатывает как затвор. Напряжение питания от 10 до 30 В.

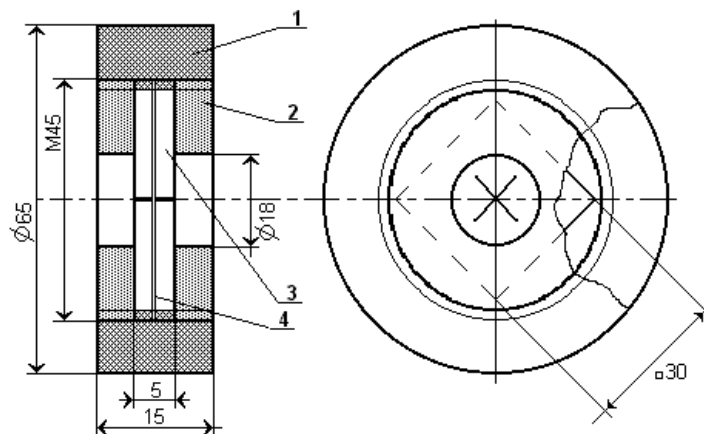


Рис. 1. 38. Оптический затвор:

1. Обойма из оргстекла. 2. Шайбы (из проводящего электрический ток материала), фиксирующие жидкокристаллическую ячейку в обойме. 3.

Стеклённые пластины с прозрачными электродами. 4. Жидкий кристалл типа Н-8 или Н – 1.

### Упражнение 26

Активный проходной датчик (рис. 1. 39 а) выполнен в виде целевого знака на жидких кристаллах. Датчик содержит состоящую из прокладки 3, двух стёкол 4 и электродов 5 капсулу 2, заполненную жидким кристаллом типа Н-8. Капсула 2 прикреплена к корпусу 1 гайками 9 с пазами 8, в которые установлены две пары фоторезисторов 6,7 (рис.1.39.б) с возможностью их углового перемещения. Каждая пара фоторезисторов 6,7 расположенная на оси X и Y подключены в мосты. Мост содержит резисторы, потенциометр и гальванометр (рис. 1. 39. в). Пятно лазера на капсуле точно устанавливается по нулевому положению стрелки гальванометра. На корпусе 1 установлен светозащитный телескопический кожух. Электроды 5 соединены с источником питания и кнопочным дистанционным управлением (рис.1.39.д). Датчик включается кнопкой дистанционного управления. За счёт свойства динамического рассеяния жидкого кристалла луч лазера задерживается на датчике. По фиксируемой гальванометром разбалансировке моста, в плечо которого включён датчик, определяется смещение изделия вдоль осей X и Y. Затем датчик отключается. Процесс измерений повторяется при включении последующих датчиков (рис.1.39. г).

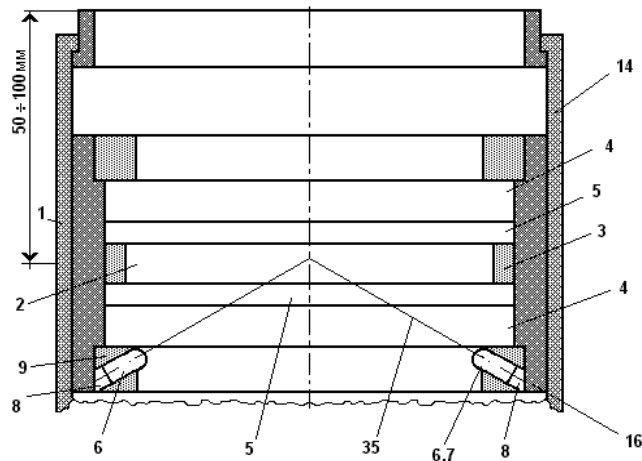


Рис. 1.39 а

Общий вид датчика в разрезе.

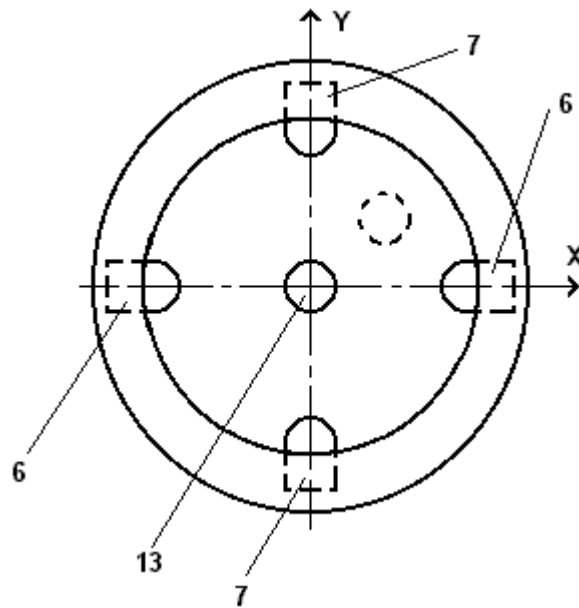


Рис. 1.39 б  
Вид снизу

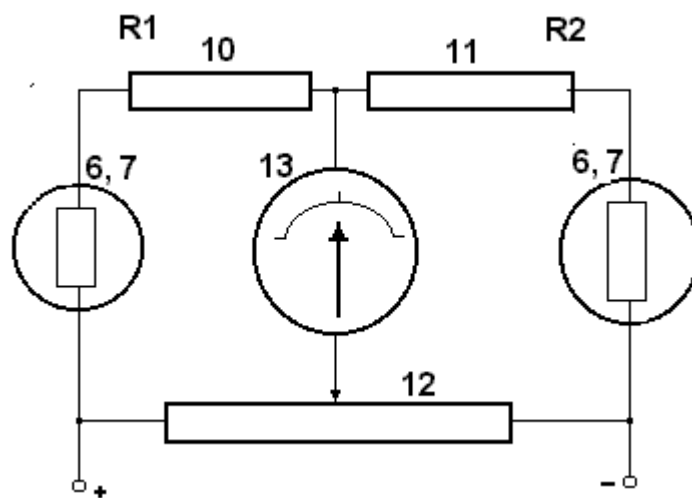


Рис 1.39 в. Схема считывания информации

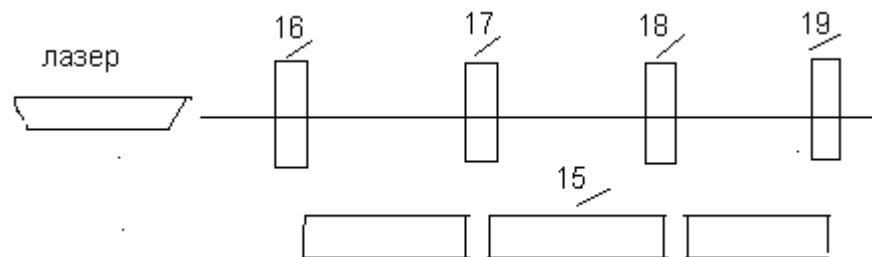


Рис. 1.39 г. Схема расположения датчиков по длине изделия

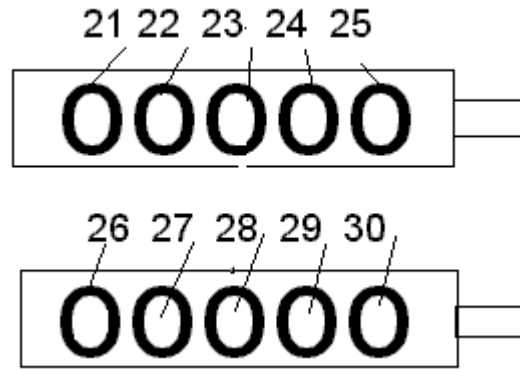


Рис. 1.39 д. Блок управления

На рис. 1.39.а показан, общий вид датчика в разрезе; на рис. 1.39.б – то же, вид снизу; на рис. 1.39.в - схема подключения фоторезисторов в мост, соединённый с гальванометром; на рис.1.39.г - расположение датчиков по длине изделия; на рис. 1.39.д - блок дистанционного кнопочного управления.

При сборке крупногабаритного изделия 15 к корпусу датчика крепится кожух 14. На изделии устанавливается ряд активных проходных датчиков 16, 17, 18, 19 и так далее оптически связанных с лазером. Для управления каждым из них предусмотрена кнопочная станция. Для точной установки пятна луча лазера 20 каждого датчика 16-19 также предусмотрена кнопочная станция. Кнопки 26-30 двойного действия соединены с мостом.

После балансировки датчиков 16-19 с помощью дистанционного управления подаётся напряжение на электроды 5 первого датчика 16. За счёт свойства динамического рассеяния жидкого кристалла среда становится молочно-мутного света и пятно луча задерживается на первом датчике 16.

Если смещение изделия происходит по оси X, то в зависимости от полярности сигнала можно определить уход трубы от оси, выставленной лазерным нивелиром, вправо или влево. Если смещение происходит по оси Y, то можно контролировать уход труб вверх или вниз по отклонению стрелок гальванометра (на каждый датчик их по два) 13, включённых в диагональ мостов. Таким образом, оператору необходимо, чтобы при проведении сварочных работ стрелки гальванометров находились на нуле. Сделав отметку на собираемом изделии 15 на первом участке контроля, кнопкой 21 отключают напряжение с электродов 5 датчика 16. В этом случае среда становится совершенно прозрачной и луч света проходит к следующему датчику.

Переход от первого датчика ко второму и так далее осуществляется за счёт свойств датчика изменять свою прозрачность под действием приложенного напряжения. Затем процесс измерений повторяется без механического перемещения датчика.

Вследствие того, что в датчике применяются фоторезисторы с определённой диаграммой направленности, угловое перемещение их

осуществляется перед измерением по наибольшему сигналу в момент нахождения пятна лазерного луча в центре датчика и фиксируется. Это позволяет создать одинаковые условия для каждого фоторезистора с учётом, что и характеристики их одинаковы.

Применение фоторезисторов и измерительной аппаратуры позволяет увеличить точность собираемого изделия до 0,2 мм, а дистанционное управление - увеличить производительность сборки на 20,5 %.

Процесс сборки изделия можно сделать более эффективным, если функцию управления и обработки информации с датчика возьмёт на себя ЭВМ, для чего необходимо согласовать выходные параметры датчика и входные параметры ЭВМ. Эта операция выполняется с помощью специальных устройств с соответствующим программным продуктом.