

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ МИКРОМИНИАТЮРИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В ЖКВ

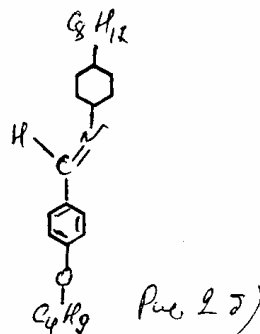
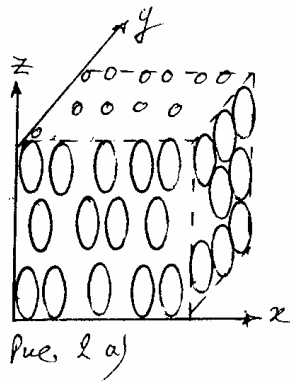
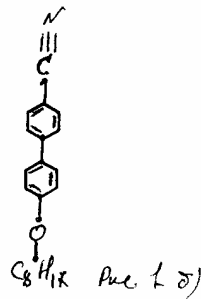
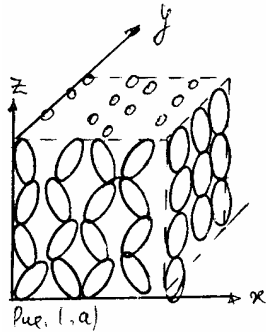
Вертинский П. А. г. Усолье-Сибирское

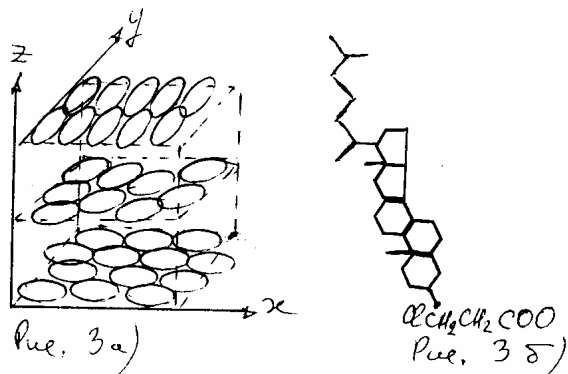
pavel-35@mail.ru

### 1. Краткое введение.

Liquid Crystall - жидкие кристаллы - / ЖКВ/ - этими латинскими словами обозначена большая группа веществ, обладающих специфическими свойствами и нашедших применение в современной микроэлектронике /1/. Поэтому наш анализ динамических свойств ЖКВ представляется возможным обозначить словосочетанием “ликвикристаллодинамика”, возможно, допуская какие-то лингвистические вольности, но с достаточной определенностью указывая на область наших исследований .

К настоящему времени физика и химия ЖКВ установили существование термотропных , лиотропных и полимерных жидкокристаллических веществ, в которых типы упорядочения структур подчиняются трем большим группам : нематики , смектики и холестерики, наглядное представление о которых можно иллюстрировать как на рис.1, рис.2 и рис.3 . При этом обнаруживается отчетливая зависимость типа упорядочения от химической структуры ЖКВ , как это иллюстрируется на рисунках соответственно : рис.1-б, рис.2-б и рис.3-б. /2/.





Вместе с тем, описание вязко-упругих свойств ЖКВ занимает в публикациях исключительно малое место. В разделе физико-химических свойств ЖКВ подавляющего числа публикаций эти сведения ограничены преимущественно результатами исследований зависимости вязко - упругих свойств ЖКВ от температуры и концентрации компонент ЖКВ, что отражает соответствующее внимание исследователей данному разделу свойств ЖКВ /3/.

Согласно современным выводам физики жидких кристаллов вопрос о превращении энергии электромагнитного поля в механическую работу за счет деформации жидкокристаллического вещества остается открытым. Действительно, открытое в 1861 году Планаром и подробно исследованное уже к 1886 году Рейнитцером и Леманном жидкокристаллическое вещество не могло заинтересовать технику до возникновения объективно исторических потребностей в свойствах данного состояния ЖКВ в электрооптических устройствах. Поэтому только с началом интенсивного развития электрооптики возникло и опережающее развитие исследований жидкокристаллических веществ /3/. При этом обращает на себя внимание динамика роста не только числа новооткрываемых свойств ЖКВ, но и неограниченное увеличение числа соединений, обладающих такими свойствами /4/, среди которых доля синтезированных ЖКВ подавляет долю новооткрытых в природе веществ типа ЖКВ.

## 2. Возникновение задачи.

Упомянутые исследования уже в конце первого периода изучения ЖКВ обнаружили существование волн плотности, особенно отчетливых для А-фазы смектического типа упорядочения, показанный на рис.4, где направление оси OZ вдоль директора ЖКВ /3/. Одновременно с открытием ЖКВ обнаружилась и анизотропия упругих свойств, которая характеризуется тремя модулями упругости  $K_{ii}$ , посредством которых можно выразить плотность свободной энергии, обусловленной произвольной деформацией /2/ :

$$W = \frac{1}{2} \left[ K_{11}(a_1 + a_5)^2 + K_{22}(a_2 - a_4)^2 + K_{33}(a_3^2 + a_6^2) \right] \quad (1), \text{ где } a_i -$$

элементарная деформация в ЖКВ.

В общем случае типы упорядочения структур ЖКВ обладают специфическими свойствами упругости, но для всех типов – нематиков /НЖК/, смектиков /СЖК/ и холестериков /ХЖК/ - общим свойством

является различие модулей упругости  $K_{ii}$  между собой, так что для каждого ЖКВ справедливо для любого типа деформации условие:

$$K_{11} \neq K_{22} \neq K_{33} \quad (2)$$

Несмотря на эту анизотропию упругости ЖКВ вследствие двумерного характера упорядоченности в ЖКВ из (1) получить вывод о возможности совершения упругими силами механической работы не представляется возможным /3/.

Одним из существенных свойств всех ЖКВ является их способность изменять направление директора под влиянием ориентирующих факторов различной природы, среди которых наиболее эффективными являются: влияние опорной поверхности /подложки/, ориентация директора под действием электрического  $E$  и магнитного  $H$  полей, ориентация в потоке ЖКВ /3/. Уместный в этой связи вопрос о совместном влиянии различных факторов на состояние ЖКВ можно рассматривать в статике или динамике.

Практически все публикации о результатах исследований вязкоупругих свойств ЖКВ посвящены статическому состоянию ЖКВ в условиях одновременного действия различных ориентирующих факторов, что отражает выше отмеченную потребность свойств ЖКВ для нужд электрооптики, где они используются преимущественно в статике./2/, /4/.

В свете этих замечаний представляется понятной неостребованность практикой вопроса о механической работе упругих сил ЖКВ, который вследствие данного обстоятельства в истории исследований свойств ЖКВ остается пока открытым.

### 3. Электро-механический эффект в ЖКВ.

Из всех возможных вариантов комбинированного совместного влияния ориентирующих факторов на ЖКВ здесь требуется рассмотреть энергетический баланс в случае одновременного действия подложки и электрического поля на ЖКВ в случае изменения одного из них во времени. Такую возможность нам представляет условие вращающегося поля, которое возможно создать, например, в области между электродами симметричной трехфазной системы, как это показано на рис.5.

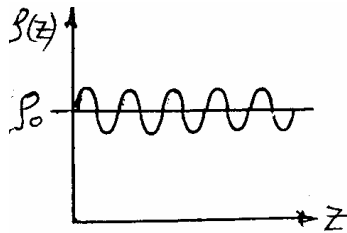


Рис.4

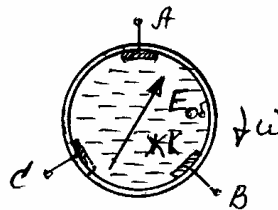


Рис.5

Действительно, если напряженности по фазам трехфазного симметричного поля выразить:

$$E_{ab} = E_o \sin vt \quad (3a)$$

$$E_{bc} = E_o \sin\left(vt - \frac{2}{3}p\right) \quad (36)$$

$$E_{ca} = E_o \sin\left(vt - \frac{4}{3}p\right) \quad (3в)$$

то, направив, например, по направлению АВ ось ОХ, для суммы проекций общей напряженности этого поля по осям ОХ и ОУ получим соответственно :

$$E_x = \frac{3}{2} E_o \sin vt \quad (4а)$$

$$E_y = \frac{3}{2} E_o \cos vt \quad (4б)$$

Таким образом , результирующая напряженность трехфазного симметричного электрического поля имеет величину :

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = \frac{3}{2} E_o = Const \quad (5)$$

и вращается в пространстве между электродами по порядку следования фаз напряженности в уравнениях (3а),(3б),(3в), так как :

$$tgj = \frac{E_x}{E_y} = tg(vt) = j(t) , \quad (6)$$

где скорость вращения определяется частотой изменения поля и числом р - электродов в каждой фазе напряженности :

$$\Omega = \frac{V}{p} \quad (7)$$

Так как свободная энергия ЖКВ по (1) в статическом поле возрастает на величину энергии поляризации /2/, то это обстоятельство позволяет нам показать справедливость следующей теоремы :

Свободная энергия по сечению ЖКВ в плоскости электрического поля распределяется по эллиптическому закону.

Для доказательства этой теоремы, например, для НЖК примем во внимание способность его типа упорядочения , при этом , как это известно /2/, опуская члены, содержащие модули упругости  $K_{11}$  и  $K_{22}$  если ось ОZ направлена по полю E , как это показано на рис. 6.

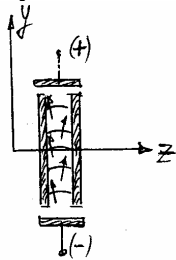


Рис. 6

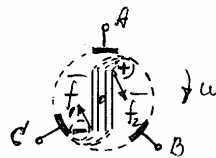


Рис. 7

Тогда выражение (1) для НЖК в электрическом поле по /2/ можно записать :

$$W = -P_y E + \frac{1}{2} K_{33} \left( \frac{d\Theta}{dz} \right)^2 \quad (8)$$

$$\text{где } P_y = \sum e_{ij} E_j , \quad (9)$$

которое можно расписать в проекциях поля по координатным осям ОХ и ОУ:

$$W = \frac{1}{2}(e_{xx}E_x^2 + 2e_{xy}E_{xy} + e_{yy}E_y^2) + \frac{1}{2}K_{33}\left(\frac{d\Theta}{dZ}\right)^2, \quad (10)$$

то есть для приращения свободной энергии НЖК в электрическом поле имеем:

$$W - \frac{1}{2}K_{33}\left(\frac{d\Theta}{dZ}\right)^2 = \frac{1}{2}(e_{xx}E_x^2 + 2e_{xy}E_{xy} + e_{yy}E_y^2) \quad (11)$$

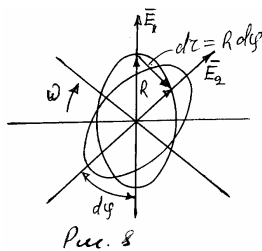
Так как левая часть уравнения (11) второй степени положительна и конечна, то данное уравнение выражает собой уравнение эллипса, что и является подтверждением справедливости нашей теоремы.

Учитывая модули упругости для типов упорядочения СЖК или ХЖК для соответствующих направлений оси OZ, можно аналогично показать и справедливость данного положения для других типов упорядочения ЖКВ.

Если теперь представить электрическое поле в выражении (11) вращающимся, например, по закону (7), то результат энергетического баланса определится наличием и других факторов.

Так, например, при отсутствии ориентирующей подложки в ЖКВ мы должны будем принять весь расход электроэнергии при вращении поля на переориентацию молекул ЖКВ, то есть в конечном счете на нагревание ЖКВ. При этом необходимо отметить, что в силу ориентирующего действия электрического поля на ЖКВ переориентация молекул носит асинхронный характер, поэтому можно считать, что вслед за вращением поля E с некоторым запаздыванием вращается и энергетический эллипс распределения свободной энергии по сечению ЖКВ в плоскости поля E.

При отсутствии общей связи между слоями молекул ЖКВ такой асинхронный поворот не может совершить механическую работу, но легко себе представить, что ЖКВ помещено в систему связанных между собой ориентирующих поверхностей - подложек, как это показано на рис.7. Тогда поворот формального эллиптического распределения энергии оказывается связанным с образованием вращающего момента, так как:



$$\frac{dW}{dj} = R \frac{dW}{dr} = Rf = M \quad (12) \quad .$$

что схематически можно показать как на рис.8

При сильном сцеплении молекул ЖКВ с подложкой, что характерно для большинства ЖКВ [3], когда энергия взаимодействия молекул ЖКВ с поверхностью подложки сравнима с энергией взаимодействия молекул ЖКВ между собой, поворот поля E неизбежно обусловит не только

поворот директора ЖКВ, но и самой подложки, что и создает механический момент вращения (12).

Разумеется, полное превращение в механическую работу всего приращения (11) свободной энергии ЖКВ невозможно вследствие реальных тепло - и электропроводности ЖКВ /4/, но с учетом изложенного для полного энергетического баланса в данном случае необходимо учесть и механические потери :

$$dW = dQ + dA , \quad (13)$$

где:  $dQ$  - количество теплоты, выделенной в ЖКВ вследствие электропроводности ЖКВ, а  $dA$  - механическая работа вращающего момента сил по (12).

Таким образом, в полном соответствии со вторым началом термодинамики , в результате совместного влияния ориентирующих факторов подложек ЖКВ и вращающегося электрического поля энергия электрического поля частично превращается в потенциальную энергию деформаций слоев данной области ЖКВ , которая расходуется на механическую работу поворота подложек в соответствии с поворотом директора данной области ЖКВ.

4.Проявления и возможные приложения электро-механического эффекта в ЖКВ.

Как это показано выше, в силу приоритетности исследований свойств ЖКВ в статических условиях для нужд электрооптики современные публикации результатов исследований свойств ЖКВ ограничиваются зависимостью вязко-упругих свойств ЖКВ от температуры и концентрации компонент. Вместе с тем, за историю исследований и применения ЖКВ оказались обнаруженными и такие результаты , которые косвенно подтверждают наши выводы об электро-механическом эффекте в ЖКВ, являясь его проявлением.

Так, например, в монографии /2/ на стр.157 отмечено, что: «...оптически регистрировалась скорость передвижения жидкого кристалла за счет силы  $dqE$ , где пространственный заряд  $dq$  появляется вследствие флексэффекта...»:  $dq = -\frac{dP}{dy}$  (14)

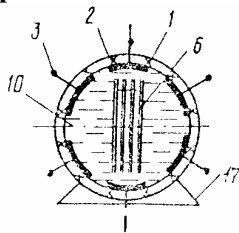
Там же, на стр.315 отмечено, что : « ... В отличие от НЖК , в смектических фазах помимо флексозлектрического может наблюдаться и истинно пьезоэлектрический эффект, обусловленный изменениями межслойного расстояния под действием внешних сил...»

В монографии /4/ , например , на стр. 228 отмечено, что : «... если теперь к сегнетоэлектрическому ЖК приложить электрическое поле...,то на молекулы ЖК будет действовать вращательный момент сил ...»

В сборнике /5/ на стр.31 и др. отмечено, что : « ... если волновой вектор  $\vec{q}$  перпендикулярен вектору  $\vec{n}$ , то смещение оказывается поперечным и возникает дополнительная вращающая сила, поскольку поле директора  $\vec{n}$  остается перпендикулярным к слоям. В этом случае смещение слоев приводит к веерообразному искажению поля директора и упругой энергии...»

Все перечисленные и другие экспериментальные результаты косвенным образом подтверждают возможность перехода электроэнергии посредством деформаций слоев ЖКВ в упругую энергию, которая при определенных условиях может совершить работу /6/,/7/.

Так как принципиальная схема устройства электростического двигателя по патенту РФ N 1589987 /6/ по существу является реализацией на уровне технического решения схемы одновременного влияния на ЖКВ факторов ориентации директора с помощью подложки и электрического поля, вращающегося между электродами симметричной трехфазной системы по (7), то схема по рис.7 является принципиальной схемой электродвигателя по данному изобретению., в



котором обеспечены и конструктивные признаки по осуществлению вращения электрического поля  $E$ , увлекающего за собой слои ЖКВ с подложками ротора двигателя. Более того,

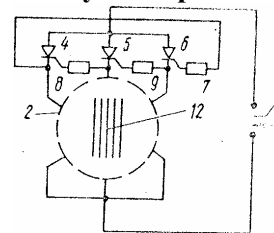


Рис. 9 обеспечивая электропитание

Рис. 10

системы электродов такого двигателя в импульсном режиме, появляется возможность работы двигателя в шаговом режиме, когда после каждого импульса напряжение снимается с электродов, включаясь снова в соответствии с заданной частотой генератора импульсов.(см.рис.9 и рис.10).

Ясно при этом, что с учетом масштабов межмолекулярных расстояний в ЖКВ различных типов массово-габаритные показатели таких устройств по техническому осуществлению электро-механического эффекта в ЖКВ приводят нас к новым возможностям микроминиатюризации электропривода и электрокоммутационной аппаратуры, в которых остро нуждается современная информационная техника и др. Для иллюстрации подобных технических возможностей здесь можно привести пример изобретения по патенту РФ N 1490318 /7/ и других аналогичных применений электро – механического эффекта в ЖКВ /8/:

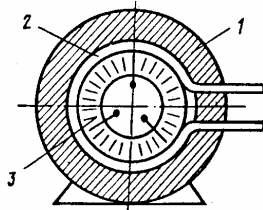


Рис.11

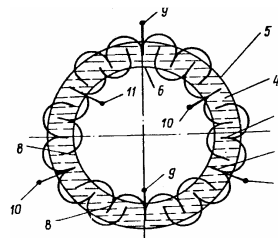


Рис.12

На рис.11 показан поперечный разрез микроминиатюрного перистальтического насоса по патенту РФ N 1490318 /7/, а на рис.12 приведена принципиальная электросхема его жидкокристаллического ротора. Действительно, при включении электропитания от сети трехфазного напряжения на электроды 9, 10, 11 в результате бегущей круговой волны напряжения на электродах, которые являются

подложками, деформации ЖКВ между ними приводят к образованию и вращению по направлению порядка следования фаз напряжения эллиптически деформированного ротора 3, который пережимает эластичный шланг 2 в противоположных точках, перемещая вместе с вращением своей формы и рабочую среду по шлангу 2 от входа к выходу насоса.

**Литература:**

- 1.Глауберман А.Е. Теория систем с нецентральной законом взаимодействия частиц.// Известия АН СССР, серия физическая, 1958 г., т.22, N 3, стр.254.
- 2.Блинов Л.М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов.М.,1983 г., стр.12, 34, 78 и др.
- 3.Сонин А.С. Введение в физику жидких кристаллов.М.,»Наука», 1983 г., стр.7, 22, 94 и др.
- 4.Гребенкин М.Ф., Иващенко А.В. Жидкокристаллические материалы. М.,»Химия», 1989 г., стр.132, 195 и др.
- 5,Литстер Дж. И Бирженс Р. Жидкие кристаллы.//Сб. »Физика за рубежом», М.,»Мир»,1983 г., стр.31 и др.
- 6,Вертинский П.А. Шаговый электростатический двигатель. Патент РФ N 1589987, 1988 г.
- 7.Вертинский П.А. Перистальтический насос с электроприводом. Патент РФ N 1490318, 1987 г.
- 8.Вертинский П.А. Электрогидравлика, г. Усолье-Сибирское,1996 г.,стр.!4 и др.