

125047, Москва, Миусская пл., д. 4. Тел: 88782202387

**Кочкаров Ахмат Магомедович**

Карачаево-Черкесская государственная технологическая академия

E-mail: Ahmat\_Kochkarov@mail.ru

357100, г.Черкесск, ул.Ставропольская, 36. Тел: 88782202387

**Салпагарова Ладифа Унуховна**

E-mail: Ahmat\_Kochksrov@mail.ru

Тел: 88782202387

**Kochkarov Azret Ahmatovich**

Mathematic's institute by Keldish M.V. State technological academy

E-mail: Ahmat\_Kochkarov@mail.ru

4, Miuskaya, Moscow, 125047. Phone: 88782202387

**Kochkarov Ahmat Magomedovich**

Karachai-Cherkess State technological academy

E-mail: Ahmat\_Kochkarov@mail.ru

36, Stavrapolskaya, Cherkesk, 357100. Phone: 88782202387

**Salpagarova Ladifa Unuhovna**

E-mail: Slada85@mail.ru

Phone: 88782202387

УДК 532.783.535.29.

**А.А. Аббасзаде, А.Р. Имамалиев, Я.Ч. Багиров**

**МОДУЛЯЦИЯ СВЕТА НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА ДЕФОРМАЦИИ  
ТВИСТ-СТРУКТУРЫ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЖИДКОГО КРИ-  
СТАЛЛА**

*В работе теоретически исследованы электрооптические характеристики тонкого планарного образца сегнетоэлектрического жидкого кристалла, где используется деформация твист-структуры с электрическим полем. Наблюдается аномальная зависимость времени переключения от амплитуды приложенного биполярного напряжения. Показана возможность быстрой модуляции света с помощью эффекта деформации твист-структуры, являющийся альтернативой эффекта Кларка-Лагерволла.*

*Сегнетоэлектрический жидкий кристалл; электрооптический эффект; эффект деформации твист-структуры; время переключения.*

**A.A. Abbas-Zadeh, A.R. Imamaliev A.R., Bagirov Y.Ch.**

**LIGHT MODULATION BY DEFORMATION OF TWIST-STRUCTURE IN  
FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS**

*In this paper there are theoretically investigated electro-optic characteristics of thin planar sample of ferroelectric liquid crystal, where the deformation of twist structure by electric field is utilized. The anomalous dependence of switching time on amplitude of applied bipolar voltage is observed. There is showed the possibility of fast modu-*

*lation of light by the effect of twist structure deformation that is an alternative of Clark – Lagerwall effect.*

*Ferroelectric liquid crystal; electro-optic effect; effect of twist structure deformation; switching time.*

**Введение.** Все системы оптической связи и оптической обработки информации, в основном, осуществляются в оптическом диапазоне, включающем ультрафиолетовую, видимую и инфракрасную (ИК) области спектра электромагнитного излучения. Модуляция света сопровождается изменением амплитуды, фазы, частоты и поляризации световых колебаний [1]. Модуляция света осуществляется с помощью специальных устройств, называемых модуляторами света. Приемники света всех типов реагируют только на изменение интенсивности света, т.е. на амплитуду. Поэтому на практике все виды модуляции преобразуют различными способами в амплитудную модуляцию. Модуляторы света широко применяются в оптической локации для измерения расстояний и скоростей движущихся объектов в оптоэлектронике, приборах дистанционного зондирования Земли, в таких как многоканальные спектрометры, ИК-радиометры и другие.

Весьма перспективны жидкокристаллические модуляторы света, которые используются как для низкочастотной (5 Гц–2кГц), так и для высокочастотной (до 1 МГц) модуляции. А среди жидкокристаллических модуляторов света явно выделяются модуляторы с сегнетоэлектрическим жидким кристаллом.

Известно, что в хиральной смектической С\*-фазе жидкого кристалла возможно самопроизвольное дипольное упорядочение, если вблизи хирального центра находится поперечная дипольная группа. Поэтому этот класс жидкого кристалла также называют сегнетоэлектрическими жидкими кристаллами (СЖК). Благодаря сильному взаимодействию спонтанной поляризации с электрическим полем, электрооптические эффекты в СЖК выделяются высоким быстродействием и низким управляющим напряжением.

При использовании СЖК в качестве рабочей среды в модуляторах света, необходимо улучшить и оптимизировать многие эксплуатационные характеристики электрооптического эффекта, такие как пороговое напряжение, время переключения, контрастное отношение и т.д. Как известно, основным используемым электрооптическим эффектом в модуляторах света на основе сегнетоэлектрических жидких кристаллов является эффект Кларка-Лагерволла, который состоит из переключения между двумя однородными состояниями, в одном из которых спонтанная поляризация по всему объему ячейки направлена вверх (UP-состояние), а в другом – вниз (DOWN-состояние) [3, 4].

В случае сильного полярного сцепления молекул СЖК с поверхностью подложек, вместо однородных состояний получается TWIST-состояние, где спонтанная поляризация поворачивается от одной поверхности к другой на 180° по поверхности конуса с углом раствора, равному удвоенному углу наклона [5]. При подаче напряжения порядка нескольких вольт на ячейку, TWIST-состояние переходит в UP- или DOWN-состояние в зависимости от знака напряжения. А при малых значениях напряжения (доли вольта) твист-состояние просто деформируется, которое также сопровождается достаточным изменением оптической картины. Поэтому эффект деформации твист-состояния, может быть использован в качестве альтернативы эффекту Кларка-Лагерволла. Преимущество эффекта деформации твист-состояния состоит в том, что, уступая в контрастном отно-

шении можно получить быструю модуляцию света достаточно малыми напряжениями.

В данной работе на основе решения уравнения баланса моментов исследованы электрооптические характеристики СЖК-ячейки, где используется эффект деформации твист-структуры.

**Решение уравнения баланса моментов.** Описание электрооптических свойств СЖК-ячейки сводится к нахождению поля директора  $\vec{n}(r,t)$  [6]. Последний в данной точке пространства может быть задан двумя углами – углом наклона  $\theta$  и азимутальным углом  $\phi$ :

$$\vec{n} = \vec{n}(\sin\theta\cos\phi, \sin\theta\sin\phi, \cos\theta) \quad (1)$$

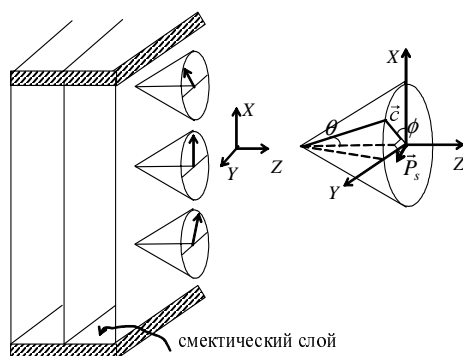


Рис. 1. Геометрия электрооптической ячейки

Угол наклона зависит, в основном, от температуры и электрическое поле существенно не меняет его значение (если не учитывать электроклинный эффект, наблюдаемый вблизи точки фазового перехода  $T_{AC^*}$  при высоких полях [7]). Азимутальный же угол меняется и по пространству в отсутствие поля, и по времени под действием поля. В толстых образцах, где имеет место спирально закрученная структура, угол  $\phi$  меняется как в направлении, перпендикулярном к слоям, так и в плоскости слоя ( $\phi = \phi(x, z)$ ), а в тонких образцах, только в плоскости слоя (если не учитывать доменную структуру и наклон слоев)  $\phi = \phi(x)$  [5]. Поэтому при не очень высоких полях задача нахождения поля директора  $\vec{n}(r,t)$  сводится к задаче отыскания распределения азимутального угла  $\phi(x,t)$ , который определяется конкуренцией упругих и поверхностных сил, а также силой электрического поля. Выведем уравнение для определения распределения  $\phi(x,t)$  в случае тонких (толщина меньше шага спиральной структуры:  $d \ll L$ ) планарных образцов СЖК (уравнение баланса моментов) имеет вид

$$\gamma\theta^2 \frac{\partial\phi}{\partial t} = G\theta^2 \frac{\partial^2\phi}{\partial x^2} + P_s E \cos\phi + \frac{\Delta\epsilon\epsilon_0\theta^2 E^2 \sin 2\phi}{2} + \frac{P_s^2 \sin 2\phi}{2\chi_{\perp}\epsilon_0} \quad (1)$$

с граничными условиями

$$G \frac{d\phi}{dx} \Big|_{\pm d/2} = (W_1 \cos \phi \pm W_2 \sin 2\phi)_{\pm d/2}, \quad 0 \leq x \leq d/2 \text{ и } -\pi/2 \leq \phi \leq +\pi/2, \quad (2)$$

описывающего динамику электрооптического переключения, построена зависимость времени переключения от напряжения для определения равновесной конфигурации системы, т.е. распределения азимутального угла вдоль толщины  $\phi(x)$ .

В граничных условиях представлен баланс упругих (левая сторона) и поверхностных (правая сторона) сил.  $W_1$  и  $W_2$  - полярная и азимутальная части энергии сцепления соответственно.

Вывод этого уравнения приведен в работах [8,9]. Коротко напомним, что в левой части уравнения фигурирует вязкий момент ( $\gamma$  - вращательная вязкость), а в правой части поочередно, упругий момент ( $G$  - модуль упругости), моменты линейного ( $P_S$  - спонтанная поляризация) квадратичного взаимодействия ( $\Delta\epsilon = \epsilon_{II} - \epsilon_{\perp}$  - анизотропия диэлектрической проницаемости,  $\chi_{\perp}$  - поперечная составляющая диэлектрической восприимчивости) с электрическим полем и деполаризующий момент.

Для СЖК, используемых в электрооптических ячейках типичные значения материальных параметров  $\gamma, P_S, G, \theta, \chi_{\perp}$  и  $\Delta\epsilon$  имеют порядок  $0,05 \text{ Па}\cdot\text{с}$ ,  $10^{-4} \text{ Кл}\cdot\text{м}^2$ ,  $10^{-11} \text{ Н}$ ,  $0,4 \text{ рад}$ ,  $10$  и  $3$  соответственно. Другие внешние параметры  $W_1, W_2 - W_3, d$  и  $E$  имеют порядок  $10^{-4} \text{ Дж}\cdot\text{м}^{-2}$ ,  $10^{-5} \text{ Дж}\cdot\text{м}^{-2}$ ,  $10^{-6} \text{ Дж}\cdot\text{м}^{-2}$  и  $10^6 \text{ В/м}$  соответственно. В дальнейшем разность  $W_2 - W_3$  заменим через  $W_2$ , а полярную часть энергии сцепления представим в виде

$$W_1 = W_{10} + k \cdot P_S, \quad (3)$$

где  $W_{10}$  - не связанная со спонтанной поляризацией часть полярной энергии сцепления. Вторая часть полярной энергии сцепления считается пропорциональной со спонтанной поляризацией. Разумно полагать  $W_{10} \sim 10^{-5} \text{ Дж}\cdot\text{м}^{-2}$  и  $k \sim 0,5 \text{ В}$ .

Зная зависимость  $\phi(x, t)$ , нетрудно найти пропускание СЖК-ячейки в скрещенных поляризаторах, например, методом  $(2 \times 2)$  - матриц задержки Джонса [10].

Для реализации численного решения уравнения (1) с граничными условиями (2) была выбрана разработанная фирмой MICROSOFT компьютерная программа MATHCAD 11 Professional. Поскольку решение указанного уравнения в пакете программ MATHCAD отсутствует, нами составлен алгоритм решения уравнения в программном режиме.

**Результаты решения уравнения баланса моментов.** Решение уравнения (1) при граничных условиях (2) показывает, что, если при заданной амплитуде частота прямоугольного биполярного напряжения, подаваемая на ячейку достаточно высокая ( $\geq 10^5 \text{ \AA}\ddot{\phi}$ ), то конечное однородное состояние не успевает установиться, и мы имеем дело с переключением между двумя деформированными TWIST-состояниями.

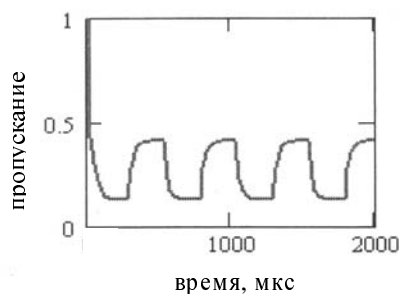


Рис. 2. Модуляция света при неполном переключении (деформировании твист-структуры) СЖК

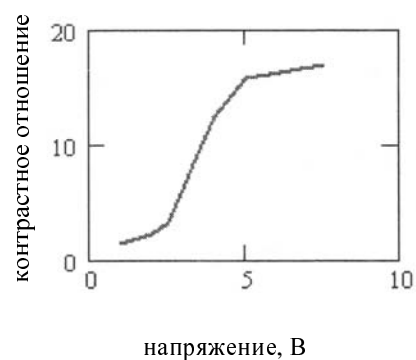


Рис. 3. Зависимость контрастного отношения от амплитуды напряжения

Интересно то, что при эффекте деформации твист-структуры наблюдается anomальная зависимость времени переключения от приложенного напряжения (рис. 4): с ростом амплитуды прямоугольного биполярного напряжения время переключения увеличивается. Это поведение объяснимо. Большие напряжения больше деформируют твист-структуру и установление конечного деформированного состояния требует большее время.

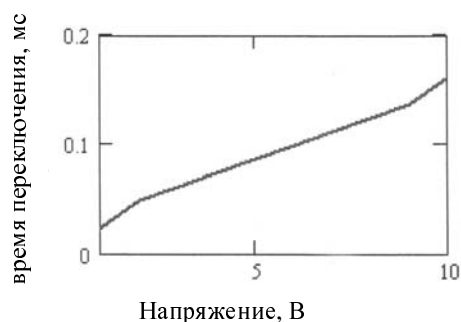


Рис.4. Зависимость времени переключения от амплитуды биполярного напряжения, подаваемого на СЖК-ячейку при неполном переключении

Картина модулированного света показана на рис. 2. Как видно, контрастное отношение эффекта деформации твист-структуры существенно уступает эффекту Кларка-Лагерволла (для последнего оно превышает 1:100). Но поворачивая ячейку по отношению скрещенных поляризаторов на некоторый угол, можно добиться существенного увеличения контрастного отношения (см. рис. 3). С ростом напряжения переключение становится ближе к полному, которое отражается в увеличении контрастного отношения (рис. 4).

**Заключение.** Таким образом, на основе теоретических исследований, можно предложить полезную идею практического характера с целью улучшения быстродействия модуляторов оптического излучения на основе сегнетоэлектрических жидких кристаллов: выбирая в качестве рабочего эффекта эффект деформации твист-состояния (или эффекта неполного переключения) СЖК, можно добиться значительного повышения быстродействия СЖК-модулятора с приемлемыми значениями контрастного отношения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Васильев А.А., Касасент Д., Компанец П.Н., Парфенов А.В.* Пространственные модуляторы света. – М.: Радио и связь. 1987. – С. 320.
2. *Блинов Л.М., Бреснев Л.А.* Сегнетоэлектрические жидкие кристаллы //Успехи физических наук. – 1984. – V. 143. – № 2. – С. 391–248.
3. *Clark N.A., Lagerwall S. T.* Submicrosecond bistable electrooptic switching in ferroelectric liquid crystals //Appl. Phys. Lett. – 1980, – V. 36. – P.899–901.
4. *Clark N.A., Handsby M.A., Lagerwall S.T.* Ferroelectric liquid crystal electrooptics using the surface stabilized structure //Mol. Cryst. Liq. Cryst., – 1983. – V. 94. – P. 213–234.
5. *Ouchi J., Takezoe H., Fukuda A.* Switching process in ferroelectric liquid crystal: disclination dynamics of surface stabilized states. //Jap. J. Appl. Phys., – 1987. – V. 26. – P 1–14.
6. *Lagerwall S.T.* Ferroelectrics and antiferroelectric liquid crystals, Willey VCH. 1999. – 437 p.
7. *Garoff S., Meyer R.B.* Electroclinic effect at the A–C phase change in a chiral smectic liquid Crystal. //Phys. Rev. Lett. 1987. – V. 38. – P. 884–885.
8. *Abbasov H.F., Imamaliyev A.R.* Simulation of Threshold Properties of Thin Planar Sample of Smectic C\* Liquid Crystal //Fizika. – № 9. – 2003.
9. *Аббасзаде А.А. Имамалиев А.Р. Багиров Я.Ч. Гулиев Р.Б.* Об управляющем напряжении модулятора света на основе сегнетоэлектрического жидкого кристалла (СЖК) //Известия НАНА, Серия физико–математических и технических наук, физика и астрономия. – 2007. Т. XXVII. – № 2, – С. 154–157.
10. *Ярив А., Юх П.* Оптические волны в кристаллах, – М.; Мир. 1997. – 616 с.

#### Аббасзаде Азад Абасгули

Национальное Аэрокосмическое Агентство, Институт Космических Исследований Природных Ресурсов.

E-mail: fredkasimi@mail.ru

AZ1123, Азербайджанская Республика, г. Баку, ул. Рахиба Мамедова, 25. Тел.: 899412 497-26-32

**Имамалиев Аббас Рагим**

E-mail: fredkasimi@mail.ru

Тел.: 899412 497-26-32

**Багиров Яшар Чингиз**

E-mail: fredkasimi@mail.ru

Тел.: 899412 497-26-32

**Abaszade Azad Abasguli**

National Aerospace Agency, Space Research Institute of Natural Resources

E-mail: fredkasimi@mail.ru

25, Rkhibova Mamedova, Baku, republic of Azarbajan, AZ1123. Phone.: 899412 497-26-32

**Imamaliiev Abas Ragim**

E-mail: fredkasimi@mail.ru

Phone.: 899412 497-26-32

**Bagirov Yashar Chingiz**

E-mail: fredkasimi@mail.ru

Phone.: 899412 497-26-32

УДК 537.86

**А.Р. Гайдук, Е.А. Жебрун****МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЙ ИНЕРЦИОИДА**

*Проведено исследование движений инерциоида при отсутствии трения. Установлена экстремальная зависимость направления и величины ускорения и скорости инерциоида от начального угла поворота грузиков.*

*Силы инерции; движение; законы Ньютона*

**A.R. Gaiduk, E.A. Jebrun****SIMULATION OF INERTIOID'S MOTIONS**

*Carry out simulation of inertioiid's motion without friction. Establish extremely dependence direction and value of inertioiid's acceleration and speed from initial value of the load corner.*

*Inertioiid; force of inertia; motion; newton's laws*

Все движители, т.е. устройства обеспечивающие перемещение тел в нашем мире, используют опору, т.е. движение возникает в результате отталкивания от некоего субстрата: земной поверхности, воды, воздуха, истекающих газов сгоревшего топлива. Другими словами, при использовании традиционных движителей движение возникает в результате взаимодействия движителя с окружающей сре-