

УДК 538.956 + 621.362.1

DOI: 10.18384/2310-7251-2016-3-96-110

## ВЛИЯНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ОРИЕНТАЦИОННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДИРЕКТОРА ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЯЧЕЙКИ ЖК

***Соломатин А.С., Беляев В.В., Рыбаков Д.О.***

*Московский государственный областной университет,  
Учебно-научная лаборатория теоретической и прикладной нанотехнологии,  
105005, г. Москва, ул. Радио, д. 10А, Российская Федерация*

**Аннотация.** Данная статья посвящена исследованию зависимости диэлектрических свойств нематических ЖК ячеек с различным пространственным ориентационным распределением от температуры. Приведены результаты эксперимента по изучению температурной зависимости диэлектрического отклика ЖК материала в мостовой схеме. Показано, что предложенная структура с комбинированной ориентацией ЖК даёт возможность формировать сигналы высокого уровня в мезофазе и низкого уровня в изотропной фазе при изменении температуры. Смоделирована зависимость диэлектрических свойств от ориентационного распределения.

**Ключевые слова:** жидкие кристаллы, диэлектрические свойства, краевые углы, датчик температуры, комбинированная ориентация ЖК.

## LIQUID CRYSTAL SPACE ORIENTATIONAL DISTRIBUTION AND ITS INFLUENCE ON LC CELL'S DIELECTRICAL PROPERTIES

***A. Solomatina, V. Belyaev, D. Rybakov***

*Education & Research Lab of Theoretical and Applied Nanotechnology,  
Moscow State Regional University,  
ul. Radio 10a, 105005 Moscow, Russia*

**Abstract.** We report a study of the liquid crystal space orientational distribution and its influence on the LC cell's dielectrical properties. We present the results of an experimental study of the temperature dependence of the dielectric response of the LCD material in the bridge circuit. It is shown that the proposed structure with the LC combined alignment allows one to generate

high-level signals in the mesophase and low-level signals in the isotropic phase at a varying temperature. The dependence of the dielectric properties on the orientation distribution is simulated.

**Key words:** liquid crystal, dielectric properties, LC combined alignment.

### 1. Введение

Для разработки матричных ЖК дисплеев и других устройств с ЖК необходимо изучать непосредственно связанные с ними ёмкостные эффекты [1 –9]. В данной работе решена практическая задача моделирования ёмкостных свойств ЖК ячеек с различными приповерхностными углами и пространственным ориентационным распределением.

Моделировалось влияние приповерхностных углов наклона директора ЖК на реакцию (отклик) ЖК материала в комбинированной плоской ячейке, разработанной для ёмкостного датчика температуры [1]. Была построена модель, показывающая, как углы наклона влияют на уровень сигнала в нематической и изотропной фазах.

### 2. Методика экспериментальных измерений и исследуемые матричные ЖК ячейки

Конструкция и электрическая схема ячейки показана на рис. 1а; 1б. Конструкция, методика изготовления и принцип работы комбинированных ячеек подробно описаны в работе [1].

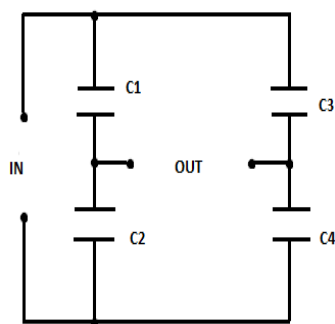


Рис. 1а. Электрическая схема комбинированной ЖК ячейки.

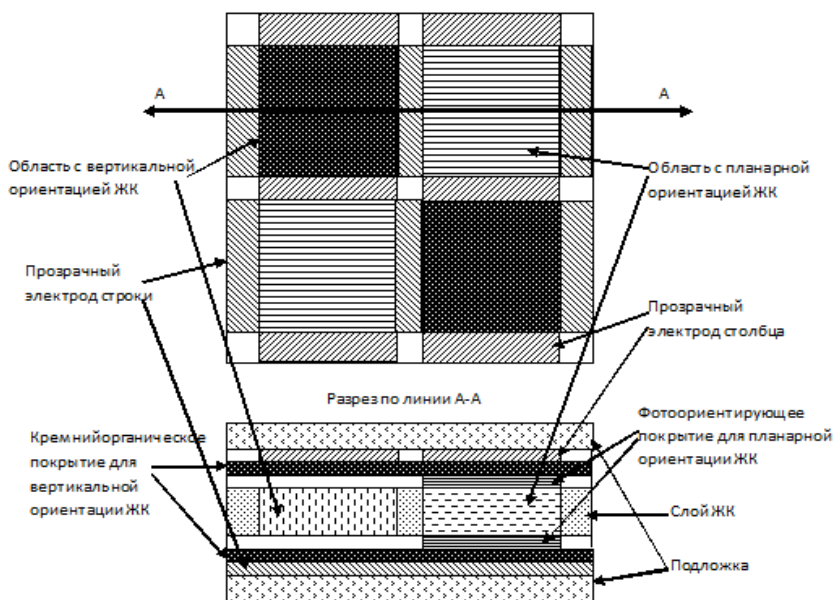


Рис. 16. Конструкция комбинированной ЖК ячейки.

Для изучения диэлектрических свойств ЖК ячейки была использована установка на базе платы аналогового входа-выхода DAC-NI PCI-6281, National Instruments, США. Рабочей средой ячейки является ЖК с положительной диэлектрической анизотропией НЖК-1289 ( $\Delta\epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp} > 0$ ), где  $\epsilon_{\parallel}$  и  $\epsilon_{\perp}$  – параллельная и перпендикулярная составляющие диэлектрической проницаемости, соответственно).

На ячейку с комбинированной ориентацией подаётся импульсный сигнал, удовлетворяющий условиям, описанным в статье [1].

Теоретически искомая амплитуда отклика определяется эффективной диэлектрической проницаемостью в соответствии с соотношением:

$$\epsilon_V = \frac{\epsilon_{\theta_1}^{eff} - \epsilon_{\theta_2}^{eff}}{\epsilon_{\theta_1}^{eff} + \epsilon_{\theta_2}^{eff}}, \quad (1)$$

где величины  $\epsilon_{\theta_1}^{eff}$  и  $\epsilon_{\theta_2}^{eff}$  вычисляются по формулам, приведённым в [1] для значений  $\epsilon_{\parallel}$  и  $\epsilon_{\perp}$  и  $\theta$  – угла наклона директора ЖК.  $\epsilon_{\theta_1}^{eff}$  – эффективная диэлектрическая проницаемость пары областей с вертикальной ориентацией,  $\epsilon_{\theta_2}^{eff}$  – эффективная диэлектрическая проницаемость пары областей с планарной ориентацией (рис. 2).

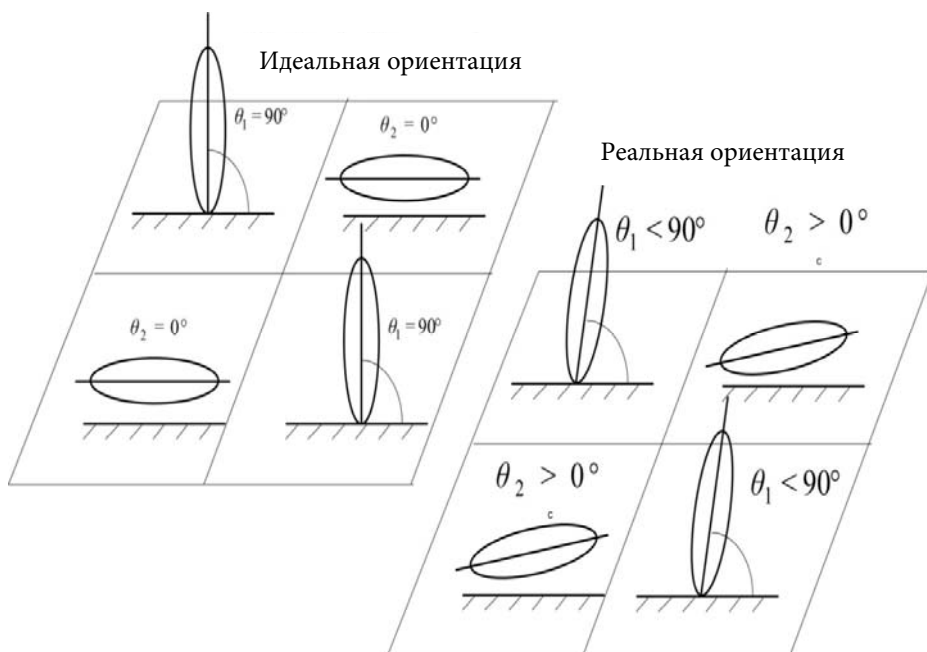


Рис. 2. Матричная ячейка с комбинированной ориентацией.

### 3. Результаты эксперимента и их обсуждение

Зависимость отклика ЖК ячеек  $\Delta U$  от температуры показана в [1]. Однако в большой серии экспериментов с широким рядом матричных ячеек с неидеальной ориентацией (рис. 2) были получены результаты, существенно отличающиеся от приведённых в [1] для практически идеально ориентированных.

В ходе эксперимента для гибридных ЖК ячеек получаются результаты, значительно отличающиеся от результатов для ячеек, имеющих области с чисто планарной и гомеотропной ориентациями директора ЖК. Гибридные ЖК ячейки показаны на рис. 3.

Гибридная ориентация ЖК ячеек обеспечивается [10–15] созданием различных приповерхностных углов наклона директора ЖК путём нанесения различных ориентирующих покрытий и / или различной их поверхностной обработкой, формирующей различные типы ориентирующего микрорельефа. Если же углы  $\theta_0^{(1)} \neq \theta_0^{(2)}$ , то тогда получаем несимметричный случай распределения углов.

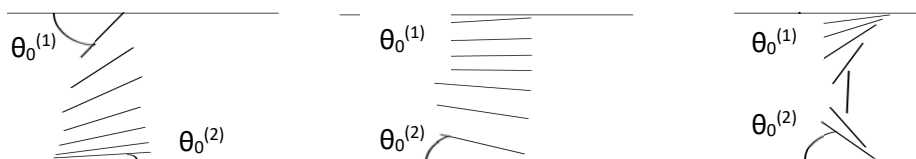


Рис. 3. Разносторонние ЖК ячейки с несимметричными углами преднаклона директора ЖК на противоположных сторонах (гибридные ЖК ячейки). Слева направо: *HybH*, *HybS* (*Splay*), *HybB* (*Bend*).

#### 4. Моделирование гибридных ЖК ячеек

Были смоделированы ячейки ЖК как с симметричным (для S и B распределений), так и с асимметричным (для НубН) распределением директора ЖК по толщине ячейки. На рис. 4а показано распределение директора ЖК по толщине НубН ячейки с несимметричными приповерхностными углами, при угле директора от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  и отношением коэффициентов упругости  $K_{33}/K_{11}$  от 0,5 до 3. На рис. 4б показано распределение директора ЖК по толщине НубS ячейки с симметричными приповерхностными углами, при приповерхностных углах  $90^\circ$  и  $K_{33}/K_{11}$  от 0,5 до 3. На рис. 4в показано распределение директора ЖК по толщине НубB ячейки с симметричными приповерхностными углами, при приповерхностных углах  $0^\circ$  и  $K_{33}/K_{11}$  от 0,5 до 3.

#### 5. Моделирование зависимости диэлектрических свойств гибридных ЖК ячеек от ориентационных и диэлектрических параметров ЖК

Для схемы с ячейками, представленной на рис. 1, рис. 2, на рис. 5 показана зависимость величины  $\epsilon_v$  (см. формулу 1) от углов наклона ЖК и от диэлектрических констант  $\epsilon_{\parallel}$ ,  $\epsilon_{\perp}$ , значения которых соответствуют различным значениям температуры в соответствии с зависимостью диэлектрических констант от температуры такого вида, как приведенная в [1]. Моделируемые ячейки имеют НубН ориентацию с симметричными краевыми углами.

По одной из осей показан приповерхностный угол одной из пар ячеек, по другой оси показан приповерхностный угол другой пары ячеек.

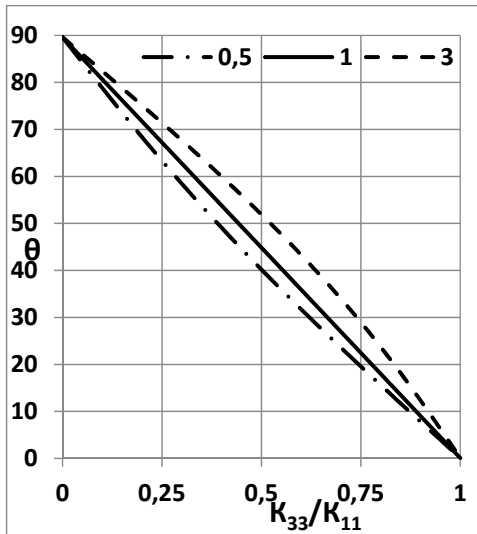


Рис. 4а. Распределение директора ЖК по толщине НубН ячейки с несимметричными приповерхностными углами при угле директора от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  и  $K_{33}/K_{11}$  от 0,5 до 3.

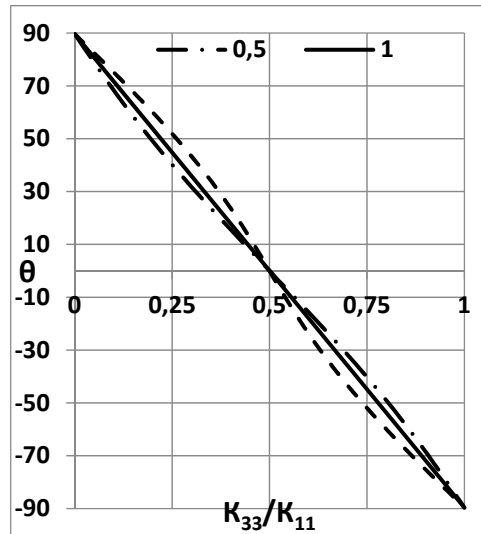


Рис. 4б. Распределение директора ЖК по толщине НубS ячейки с симметричными приповерхностными углами при  $K_{33}/K_{11}$  от 0,5 до 3.

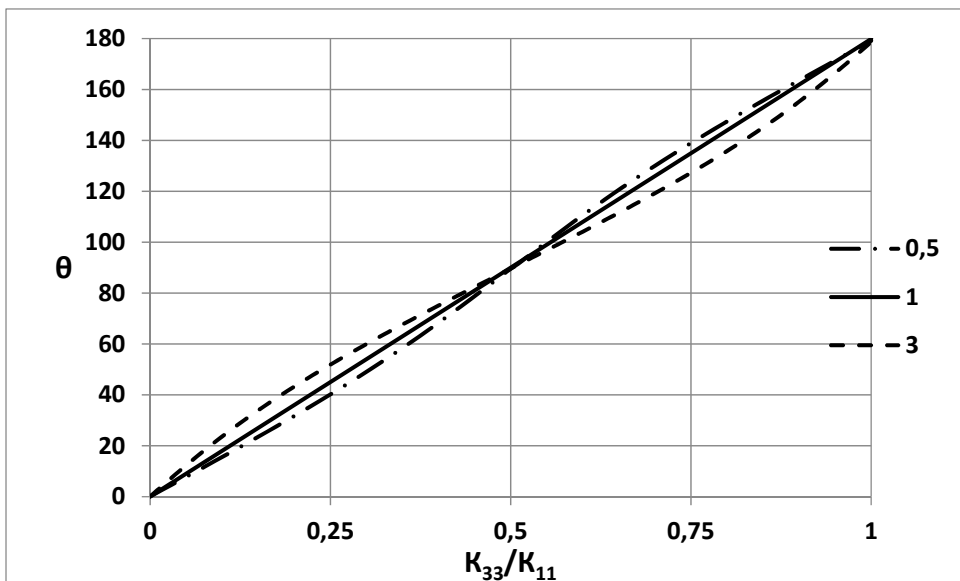


Рис. 4в. Распределение директора ЖК по толщине НубВ ячейки с симметричными приповерхностными углами, при приповерхностных углах  $0^\circ$  и  $K_{33}/K_{11}$  от 0,5 до 3.

По вертикальной оси показан отклик  $\varepsilon_V$ . Справа – его же профили относительно одной из осей приповерхностных углов, значения по другой оси (краевые углы второй пары ячеек) показаны в подписях к линиям графиков.

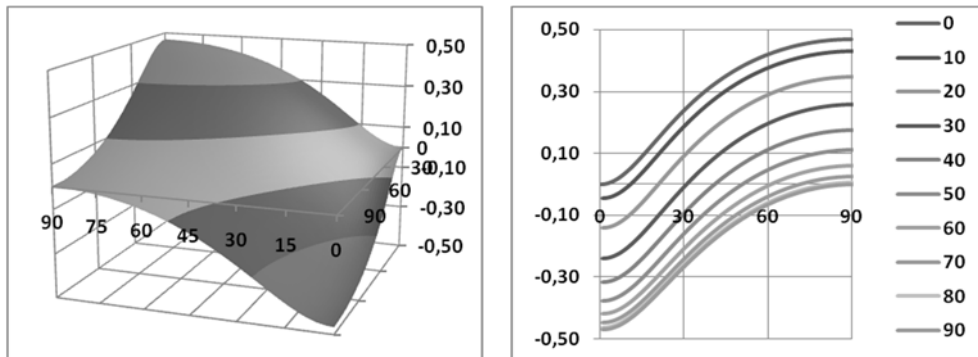


Рис. 5а. Зависимость отклика  $\varepsilon_V$  от углов наклона ЖК при значениях  $\varepsilon_{||}=10,2$ ;  $\varepsilon_{\perp}=3,7$ .

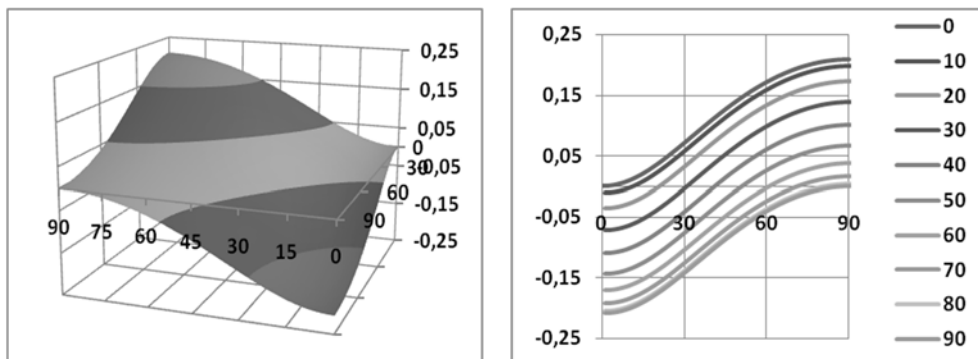


Рис. 5б. Зависимость отклика  $\varepsilon_V$  от углов наклона ЖК при значениях  $\varepsilon_{||}=8,24$ ,  $\varepsilon_{\perp}=5,4$

Как видно из рисунков, с ростом температуры вид зависимости отклика от приповерхностных углов в схеме с ЖК ячейками НубН типа с симметричными приповерхностными углами остаётся качественно тем же, хотя некоторые количественные изменения очевидны.

В то же время необходимо отметить, что величина отклика, в зависимости от приповерхностных углов в ячейках, может изменяться в широких пределах.

В теоретической модели [10–15] использовалось одноконстантное приближение (константы упругости Франка для нематических ЖК  $K_{11}=K_{33}$ ) для упрощения расчётов. Условие  $K_{11}=K_{33}$  означает линейное распределение угла наклона директора ЖК по оси координат, перпендикулярной поверхностям ЖК ячейки.

При одноконстантном приближении, упругая энергия ЖК не зависит от локального угла наклона директора, и угол линейно зависит от координаты по толщине ячейки. Углы рассматривались в диапазоне от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ .

Однако в практическом применении важен случай нематических ЖК с  $K_{11} \neq K_{33}$ . В связи с этим необходимо уточнить, каковы диапазоны параметров ячеек нематических ЖК с  $K_{11} \neq K_{33}$ , при которых актуальна используемая в данной работе модель.

Типичная зависимость  $\epsilon^{\text{eff}}(K_{33}/K_{11})$  для НубS, НубВ и НубН распределений изображена на рис. 6.1, рис. 6.2 и рис. 6.3. для  $\epsilon_{//}=14,4$ ,  $\epsilon_{\perp}=5,6$  (ЖК-1289 при  $23^\circ\text{C}$ )

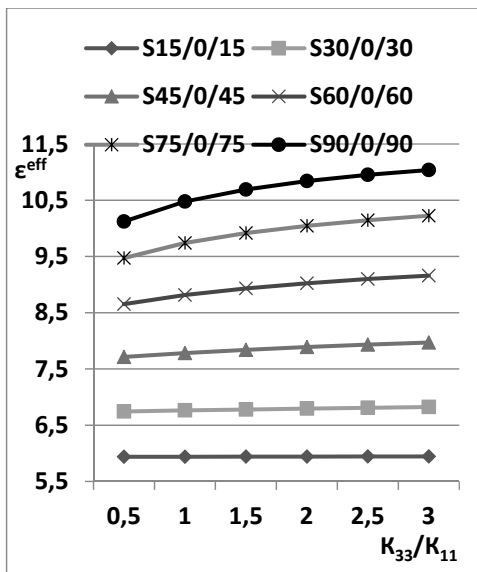


Рис. 6.1. Зависимость  $\epsilon^{\text{eff}}(K_{33}/K_{11})$  для НубS распределения с симметричными приповерхностными углами от  $15^\circ$  до  $90^\circ$  и  $K_{33}/K_{11}$  от 0,5 до 3.

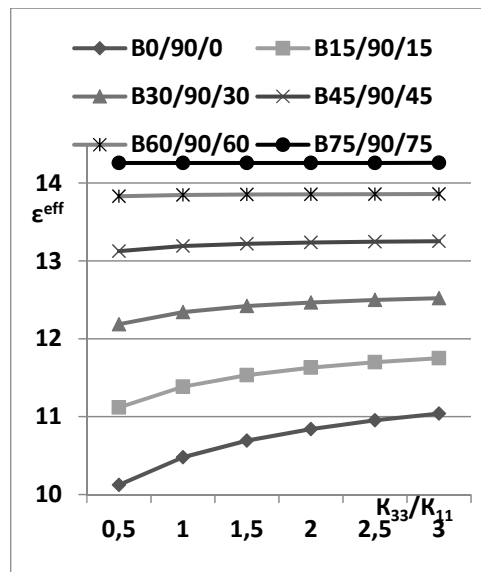


Рис. 6.2. Зависимость  $\epsilon^{\text{eff}}(K_{33}/K_{11})$  для НубВ распределения с симметричными приповерхностными углами от  $0^\circ$  до  $75^\circ$  и  $K_{33}/K_{11}$  от 0,5 до 3.

Хорошо видно, что  $\epsilon^{\text{eff}}$  остаётся близка к случаю  $K_{33}/K_{11}=1$  для многих смоделированных распределений, например, S15/0/15, S30/0/30, B60/90/60, B75/90/75. Отсюда можно сделать вывод, что при разнице приповерхностных углов и угла посередине ячейки до  $30^\circ$  предложенная в [10-15] модель (одноконстантная) вполне пригодна.

Таким образом, предложенная методика определения диэлектрических свойств ЖК ячеек мостовым методом адекватна для реально существующих ЖК



систем в диапазоне разности приповерхностных углов и угла посередине ячейки не менее, чем в  $30^\circ$ .

В то же время необходимо отметить, что зависимость  $\epsilon^{\text{eff}}(K_{33}/K_{11})$  для В0/90/0 и для S90/0/90 распределения демонстрирует изменение на 10% при изменении  $K_{33}/K_{11}$  от 0,5 до 3. Таким образом, показана возможность задания диэлектрических свойств ЖК ячейки Нус и НубВ типов путём задания величины приповерхностного угла.

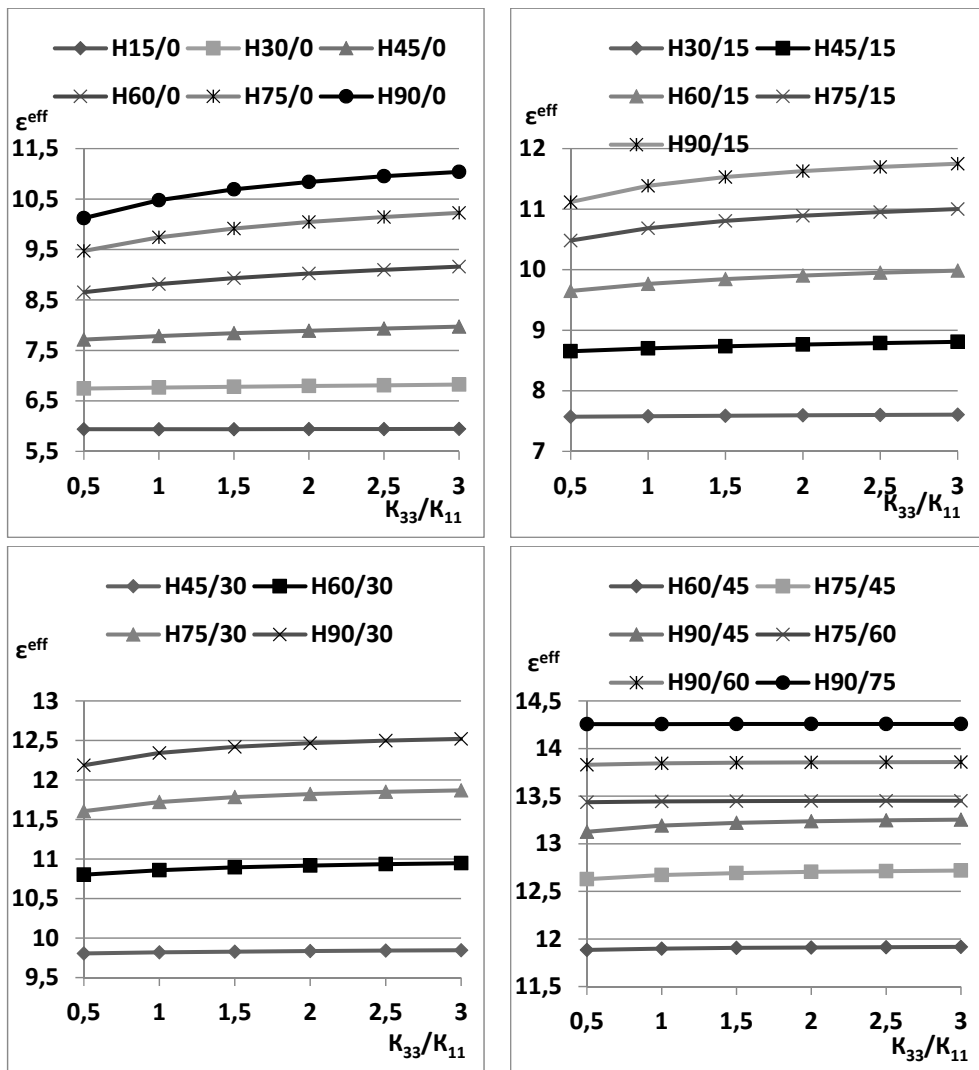


Рис. 6.3. Зависимость  $\epsilon^{\text{eff}}(K_{33}/K_{11})$  для НубН распределения с несимметричными приповерхностными углами (ориентационными) от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  и  $K_{33}/K_{11}$  от 0,5 до 3.  $\epsilon_{//} = 14,4$ ,  $\epsilon_{\perp} = 5,6$  (ЖК-1289 при  $23^\circ\text{C}$ ).

Хорошо видно, что  $\epsilon^{\text{eff}}$  остаётся близка к случаю  $K_{33}/K_{11}=1$  для многих смоделированных распределений, например, Н15/0, Н30/0, Н30/15, Н45/15, Н45/30, Н60/30, Н60/45, Н75/45, Н75/60, Н90/60, Н90/75. Из этого можно сделать вывод, что при разнице приповерхностных углов до  $30^\circ$  предложенная в работах [10-15] модель (одноконстантная) вполне пригодна.

В то же время необходимо отметить, что зависимость  $\epsilon^{\text{eff}}(K_{33}/K_{11})$  для НубН распределения демонстрирует изменение на 10% при изменении  $K_{33}/K_{11}$  от 0,5 до 3, например для гомеопланарной ячейки (Н90/0).

Таким образом, показана возможность задания диэлектрических свойств ЖК ячейки НубН типа путём задания величины приповерхностного угла.

На рис. 7 показана величина  $\epsilon_v$  для различных НубS и НубВ распределений, рассмотренных выше. Над каждым графиком указана величина  $K_{33}/K_{11}$ .

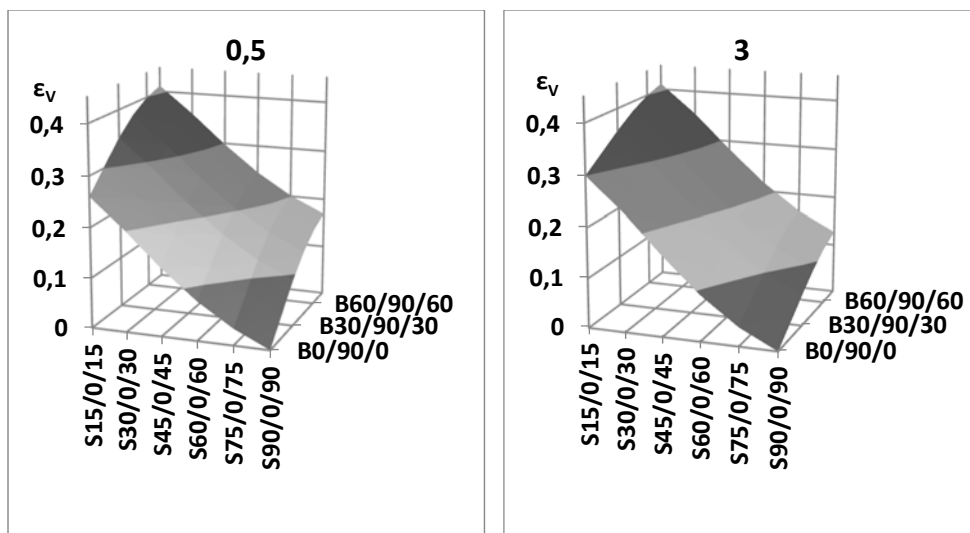


Рис. 7. Величина  $\epsilon_v$  для различных НубS и НубВ распределений при значениях  $K_{33}/K_{11}$  от 0,5 до 3.  $\epsilon_{//}=14,4$ ,  $\epsilon_{\perp}=5,6$  (ЖК-1289 при  $23^\circ\text{C}$ ).

Как показано на рис. 7, вполне можно пользоваться одноконстантной моделью [10–15] для расчёта отклика  $\epsilon_v$  при различных упругих характеристиках ЖК материала и НубS или НубВ конфигурациях.

Надо отметить, что для той ЖК ячейки, которая ближе к планарной ориентации, более вероятной является НубS конфигурация, а для той ЖК ячейки, которая ближе к гомеотропной, более вероятной является НубВ

конфигурация. Таким образом, наиболее вероятные варианты пар ячеек для расчёта отклика приведены на рис. 7. В таблице 1 приведены данные для отклика, рассчитанного по одноконстантной модели ЖК ячеек. Они же использованы для соответствующего из графиков на рис. 7.

Таблица 1.

Величина  $\epsilon_V$ , рассчитанная при значении  $K_{33}/K_{11} = 1$ ,  $\epsilon_{//} = 14,4$ ,  $\epsilon_{\perp} = 5,6$  (ЖК-1289 при 23°C).

	<i>S15/0/15</i>	<i>S30/0/30</i>	<i>S45/0/45</i>	<i>S60/0/60</i>	<i>S75/0/75</i>	<i>S90/0/90</i>
<i>B0/90/0</i>	0,27	0,21	0,15	0,09	0,04	0
<i>B15/90/15</i>	0,31	0,25	0,19	0,13	0,08	0,04
<i>B30/90/30</i>	0,35	0,29	0,23	0,17	0,12	0,08
<i>B45/90/45</i>	0,38	0,32	0,26	0,20	0,15	0,11
<i>B60/90/60</i>	0,40	0,34	0,28	0,22	0,17	0,14
<i>B75/90/75</i>	0,41	0,36	0,29	0,24	0,19	0,15

## 6. Выводы

Показано экспериментально, что предложенная структура с комбинированной ориентацией ЖК даёт возможность формировать сигналы высокого уровня в мезофазе и низкого уровня в изотропной фазе при изменении температуры.

Построена модель, которая позволяет определить, какие краевые углы в ЖК ячейках следует задать для формирования заданных ёмкостных свойств и значения отклика.

Это моделирование также может использоваться для произвольных слоев жидкого кристалла с большим диапазоном их краевых углов. Таким образом можно построить новые конструкции ЖК экранов с активной жидкокристаллической матрицей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Муравский Ан.Ал., Муравский Ал.Ан., Беляев В.В., Рыбаков Д.О., Мазаева В.Г., Соломатин А.С., Чаусов Д.Н., Шошин В.М., Бобылев Ю.П. Жидкокристаллический ёмкостной датчик температуры // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика. 2014. № 1. С. 40–47.

2. Беляев В.В., Карлашук В.И. Технические средства систем управления. Часть 1. Операционные усилители и измерительные преобразователи // Учебное пособие: М: РУДН. 2009. С. 1–100.
3. Гребенкин М.Ф., Иващенко А.В. Жидкокристаллические материалы. М.: Химия. 1989. 288 с.
4. Maier W., Meier G. Eine einfache Theorie der dielektrischen Eigenschaften homogen orientierter kristallglüssiger Phasen des nematischen Typs. // Z. Naturforsch. 1961. Vol. 16a. P. 262.
5. Maier W., Meier G. Hauptdielektrizitätskonstanten der kristallglüssiger Phasen des nematischen Typs. // Z. Naturforsch. 1961. Vol. 16a. P. 470.
6. Адоменас П., Беляев В.В., Иванов С.А., Кузнецов А.Б., Ковтонюк Н.Ф., Шешкаускас В., Безбородов В.С., Пашконене Р. Жидкокристаллический материал с положительной диэлектрической анизотропией для оптоэлектронных устройств // Положит. реш. по заявке на Авторское свидетельство СССР № 4821614/04 от 30.07.91, приор. 03.05.90.
7. Belyaev V.V., Solomatin A.S., Chausov D.N., Shoshin V.M., Bobylev Y.P., Muravskii A.A., Muravskii A.A., Mazaeva V.G., Natsyuk S.N., Gorbunov A.A. Different Polarity NLC Alignment on Organosilicon Films of Varying Molecular Structure // Proc. XXXI IDRC Eurodisplay 2011 (Arcachon, France, 19-22 September 2011), pp. 17–19.
8. Muravsky Al., Murauski An., Mazaeva V., Belyaev V. Parameters on the LC alignment of organosilicon compound films // J. Soc. Inf. Display. 2005. Vol. 13. pp. 349–354.
9. de Jen W.H. Physical Properties of Liquid Crystalline Materials. New York.: Gordon & Breach. 1980.
10. Belyaev V., Solomatin A., Chausov D. Phase retardation vs. pretilt angle in liquid crystal cells with homogeneous and inhomogeneous LC director configuration // Optics Express. 2013. Vol. 21. pp. 4244–4249.
11. Belyaev V.V., Solomatin A.S., Kurilov A.D., Chausov D.N., Mazaeva V.G. Optical Properties of Hybrid Aligned Nematic (HAN) Cells with Different Pretilt Angles // Applied Optics. 2014. Vol. 53. Issue 29. pp. H51–H57.
12. Беляев В.В., Соломатин А.С. Оптические свойства гибридных жидкокристаллических ячеек при различных углах падения света // Оптический Журнал. 2015. Т. 82. № 1. С. 41–48.
13. Belyaev V.V., Solomatin A.S., Chausov D.N. Phase retardation difference of liquid crystal cells with symmetric and asymmetric boundary conditions // Molecular Crystals & Liquid Crystals. 2014. Vol. 596. no. 1. pp. 22–29.
14. Беляев В.В., Соломатин А.С., Чаусов Д.Н. Оптические свойства ЖК ячеек с произвольным краевым углом наклона директора // Вестник Московского

государственного областного университета. Серия Физика-Математика. 2013. №1. С. 32–41.

15. Беляев В.В., Соломатин А.С. Ориентационные и оптические свойства слоев жидкого кристалла с одной ориентирующей и одной неориентирующей поверхностью // Жидкие кристаллы и их практическое применение. 2014. Т. 14. №2. С. 4–20.

#### REFERENCES

1. Zhidkokristallicheskiy emkostnoi datchik temperatury [LCD capacitive temperature sensor], Muravskii A.A., Muravskii A.A., Belyaev V.V., Rybakov D.O., Mazaeva V.G., Solomatin A.S., Chausov D.N., Shoshin V.M., Bobylev YU.P. // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Fizika-matematika. 2014. no. 1. pp. 40–47.
2. Belyaev V.V., Karlashchuk V.I. Tekhnicheskie sredstva sistem upravleniya. CHast' 1. Operatsionnye usiliteli i izmeritel'nye preobrazovateli: uchebnoe posobie [Technical means of control systems. Part 1. Operational amplifiers and measuring transducers: a tutorial]. M., RUDN, 2009.
3. Grebenkin M.F., Ivashchenko A.V. Zhidkokristallicheskie materialy [Liquid crystal materials]. M., Khimiya, 1989. 288 p.
4. Maier W., Meier G. Eine einfache Theorie der dielektrischen Eigenschaften homogen orientierter kristallinglüssiger Phasen des nematischen Typs. // Z. Naturforsch. 1961. Vol. 16a. P. 262.
5. Maier W., Meier G. Hauptdielektrizitätskonstanten der kristallinglüssiger Phasen des nematischen Typs. // Z. Naturforsch. 1961. Vol. 16a. P. 470.
6. Zhidkokristallicheskiy material s polozhitel'noi dielektricheskoi anizotropiei dlya optoelektronnykh ustroystv [Liquid crystal material with positive dielectric anisotropy for optoelectronic devices], Adomenas P., Belyaev V.V., Ivanov S.A., Kuznetsov A.B., Kovtonyuk N.F., Sheshkauskas V., Bezborodov V.S., Pashkonene R. // Polozhit. resh. po zayavke na Avtorskoe svidetel'stvo SSSR. . no. 4821614/04 ot 30.07.91, prior. 03.05.90.
7. Belyaev V.V., Solomatin A.S., Chausov D.N., Shoshin V.M., Bobylev Y.P., Muravskii A.A., Muravskii A.A., Mazaeva V.G., Natsyuk S.N., Gorbunov A.A. Different Polarity NLC Alignment on Organosilicon Films of Varying Molecular Structure // Proc. XXXI IDRC Eurodisplay 2011 (Arcachon, France, 19-22 September 2011), pp. 17–19.
8. Muravsky A.I., Muravskii A.A., Mazaeva V., Belyaev V. Parameters on the LC alignment of organosilicon compound films // J. Soc. Inf. Display. 2005. Vol. 13. pp. 349–354.
9. de Jen W.H. Physical Properties of Liquid Crystalline Materials. New York.: Gordon & Breach. 1980.

10. Belyaev V., Solomatin A., Chausov D. Phase retardation vs. pretilt angle in liquid crystal cells with homogeneous and inhomogeneous LC director configuration // *Optics Express*. 2013. Vol. 21. pp. 4244–4249.
11. Belyaev V.V., Solomatin A.S., Kurilov A.D., Chausov D.N., Mazaeva V.G. Optical Properties of Hybrid Aligned Nematic (HAN) Cells with Different Pretilt Angles // *Applied Optics*. 2014. Vol. 53. Issue 29. pp. H51–H57.
12. Belyaev V.V., Solomatin A.S. Opticheskie svoystva gibridnykh zhidkokristallicheskiy yacheek pri razlichnykh uglakh padeniya sveta [Optical properties of hybrid liquid crystal cell at various angles of incidence of light] // *Opticheskii ZHurnal*. Vol. 82. 2015. no. 1. pp. 41–48.
13. Belyaev V.V., Solomatin A.S., Chausov D.N. Phase retardation difference of liquid crystal cells with symmetric and asymmetric boundary conditions // *Molecular Crystals & Liquid Crystals*. 2014. Vol. 596. no. 1. pp. 22–29.
14. Belyaev V.V., Solomatin A.S., Chausov D.N. Opticheskie svoystva ZHK yacheek s proizvol'nym kraevym uglom naklona direktora [The optical properties of the LCD cell with arbitrary boundary angle of the Director] // *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya Fizika-Matematika*. 2013. no. 1. pp. 32–41.
15. Belyaev V.V., Solomatin A.S. Orientatsionnye i opticheskie svoystva sloev zhidkogo kristalla s odnoi orientiruyushchei i odnoi neorientiruyushchei poverkhnost'yu [Orientational and optical properties of layers of liquid crystal with one orientation and one georienteerde surface] // *Zhidkie kristally i ikh prakticheskoe primenenie*. Vol. 14. 2014. no. 2. pp. 4–20.

---

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Соломатин Алексей Сергеевич* – кандидат физико-математических наук, инженер учебно-научной лаборатории теоретической и прикладной нанотехнологии, Московский государственный областной университет;  
e-mail: Sotrudnica\_UNC@mail.ru

*Беляев Виктор Васильевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической физики, Московский государственный областной университет;  
e-mail: vic\_belyaev@mail.ru

*Рыбаков Дмитрий Олегович* – аспирант, Московский государственный областной университет;  
e-mail: rubakov\_lis@mail.ru

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Solomatin Aleksei Sergeevich* – candidate of physical and mathematical sciences, engineer of the Education & Science Lab for Theoretical and Applied Nanotechnology at the Moscow State Regional University;  
e-mail: Sotrudnica\_UNC@mail.ru

*Victor Vasilyevich Belyaev* – doctor of technical sciences, professor, head of the Department of Theoretical Physics at the Moscow State Regional University;  
e-mail: vic\_belyaev@mail.ru

*Rybakov Dmitry* – post-graduate student, State Moscow Regional University;  
e-mail: rubakov\_lis@mail.ru

---

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

*Соломатин А.С., Беляев В.В., Рыбаков Д.О.* Влияние пространственного ориентационного распределения директора жидкого кристалла на диэлектрические свойства ячейки ЖК // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика. 2016. № 3. С. 96–110.

DOI: 10.18384/2310-7251-2016-3-96-110.

#### BIBLIOGRAPHIC REFERENCE

*A. Solomatin, V. Belyaev, D. Rybakov.* Liquid crystal space orientational distribution and its influence on LC cell's dielectrical properties // Bulletin of Moscow Region State University. Series: Physics and Mathematics. 2016. no. 3. pp. 96–110.

DOI: 10.18384/2310-7251-2016-3-96-110.