

# Исследование характеристик системы волноводных каналов в ФПМ-ЖК при неоднородном амплитудно-фазовом распределении формирующего поля

Д.И. Дудник<sup>1</sup>, И.А. Квасова<sup>1</sup>, К.О. Гусаченко<sup>1</sup>, А.О. Семкин<sup>1</sup>, С.Н. Шарангович<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Ленина 40, Томск, Россия, 634050

**Аннотация.** В работе представлены результаты моделирования влияния неоднородности амплитудного, фазового и амплитудно-фазового распределений формирующего поля на пространственное распределение профиля показателя преломления и, соответственно, модовый состав излучения, способного распространяться в волноводах, формируемых голографическим методом в ФПМ-ЖК. Распределение профиля показателя преломления найдено путем решения системы кинетических уравнений фотополимеризационно-диффузионного процесса формирования. Модовый состав излучения определен путем решения дисперсионного уравнения для ТЕ-мод.

## 1. Введение

В настоящее время создание компонентов для интегрально-оптических устройств вызывает большой интерес в информационной сфере. Основная задача — создание компонентов, не требующих сложного технологического процесса и имеющих доступную стоимость для применения в интегрально-оптических устройствах. Для решения данной задачи есть множество способов, но почти каждый из них либо сложен в реализации, либо требует дорогостоящего материала.

В технологию создания оптических компонентов для интегрально-оптических устройств входят метод, материал и установка.

Одним из методов создания компонентов для таких устройств может быть голографический метод [1-3]. Такой метод прост в реализации, а также не нуждается в обработке материала и создании дополнительных компонентов.

Использование голографического метода возможно в фотополимерно-жидкокристаллической композиции (ФПМ-ЖК) [4,5]. Данный материал представляет собою смесь органических веществ и чувствителен к излучению в оптическом диапазоне частот.

С помощью голографического метода возможно формирование волноводных каналов в фотополимерно-жидкокристаллических композициях [6,7].

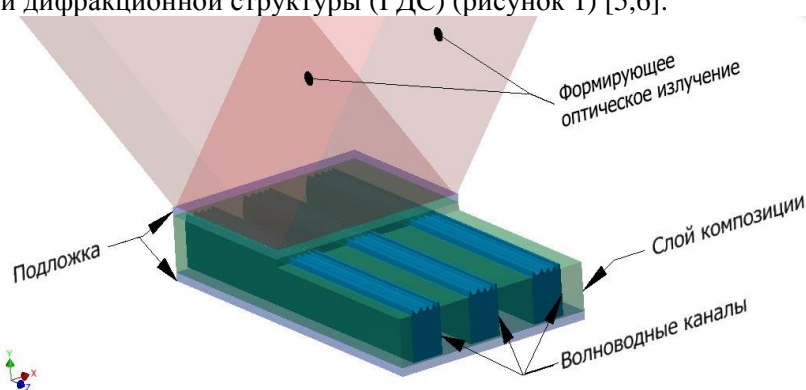
Целью данной работы является исследование голографического формирования волноводных каналов в фотополимерно-жидкокристаллических композициях полем с неоднородным амплитудно-фазовым распределением.

## 2. Формирование волноводных каналов голографическим методом в ФПМ-ЖК

Для создания оптических элементов в интегрально-оптических устройствах голографическим методом выбран фотополимерный материал (ФПМ), содержащий жидкокристаллическую (ЖК) композицию. Данный материал состоит из двух компонентов: мономера и ЖК. В ФПМ-ЖК возможно добавление химических веществ для изменения характеристик. Образец ФПМ-ЖК представляет собою стеклянную пластину, на которую нанесён раствор мономера, ЖК и дополнительных компонентов, с наложенной другой стеклянной пластины или прозрачной плёнкой [8].

Также ФПМ-ЖК имеет ряд достоинств, таких как: высокая разрешающая способность, высокая дифракционная эффективность, возможность управления селективными и дифракционными свойствами, доступная стоимость материала, отсутствие необходимости в дополнительной химической обработке готовой системы волноводов при использовании голографического метода [9, 10].

Для формирования волноводных каналов в ФПМ-ЖК применяется схема формирования голографической дифракционной структуры (ГДС) (рисунок 1) [5,6].



**Рисунок 1.** Схема голографического формирования системы волноводных каналов в ФПМ-ЖК.

ГДС формируется путем освещения образца ФПМ-ЖК двумя пучками лазерного излучения. Во время формирования структуры в образце проходят такие процессы, как: фотополимеризация и диффузия компонентов композиции. Основным параметром является соотношение скоростей протекания диффузионного процесса и процесса фотополимеризации. Данный параметр определяет характер изменения оптических свойств материала в месте формирования ГДС [8].

В данной работе рассматривается образец ФПМ-ЖК, где плоский слой композиции расположен между двумя прозрачными пластинами. Формирование в образце ФПМ-ЖК осуществляется когерентными монохроматическими пучками, толщина композиционного слоя намного меньше поперечного размера пучков. Применение такого метода позволяет создавать волноводные каналы путём равномерной засветки образца ФПМ-ЖК [6].

## 3. Трёхмерная модель голографического формирования неоднородных дифракционных ФПМ-ЖК структур

В работе [11] описана трёхмерная модель голографического формирования неоднородных дифракционных ФПМ-ЖК структур. Данная модель учитывает амплитудную и фазовую неоднородности профиля структуры, а также произвольную степень нелинейности процесса записи.

Для нахождения тензора диэлектрической проницаемости ФПМ-ЖК в процессе записи ГДС используется выражение:

$$\hat{\varepsilon}(\mathbf{r}, t) = (1 - \rho) \left[ \varepsilon_p \cdot \hat{\mathbf{I}} + \sum_{m=0, e} \Delta \hat{\varepsilon}_p^m(\mathbf{r}, t) \right] + \rho \left[ \hat{\varepsilon}_{lc} + \sum_{m=0, e} \Delta \hat{\varepsilon}_{lc}^m(\mathbf{r}, t) \right] \quad (1)$$

где  $\rho$  – объёмная доля ЖК;  $\hat{\mathbf{I}}$  – единичный тензор;  $\varepsilon_p$  – диэлектрическая проницаемость фотополимера;  $\hat{\varepsilon}_{lc} = \varepsilon^o \cdot \hat{\mathbf{I}} + (\varepsilon^o - \varepsilon^e) \cdot \mathbf{CC}$  – тензор диэлектрической проницаемости ЖК;  $\varepsilon^o, \varepsilon^e$  –

компоненты тензора, измеренные при продольной и поперечной ориентациях директора ЖК **C** соответственно;  $m = o, e$  соответствует дифракционным структурам, формируемым в образце обыкновенными и необыкновенными волнами соответственно; **CC** – означает тензорное произведение векторов (диада);  $\Delta\hat{\varepsilon}_p^m(\mathbf{r}, t)$ ,  $\Delta\hat{\varepsilon}_{lc}^m(\mathbf{r}, t)$  – возмущения тензора диэлектрической проницаемости, обусловленные фотополимеризационным и диффузионным процессами соответственно.

Зависимость тензора диэлектрической проницаемости в общем случае характеризуется затуханием оптического излучения в образце и неоднородностью пространственных амплитудных и фазовых распределений. Нестационарность тензора возникает в процессе формирования ГДС и при фотоиндуцированном изменении коэффициента поглощения материала.

Запись ГДС осуществляется световым полем, которое имеет периодическое пространственное распределение интенсивности, следовательно, изменения оптических свойств образца также будут характеризоваться периодичностью. Для упрощения, в данной работе, затухание формирующего излучения учитываться не будет. Тогда, возмущения тензоров  $\Delta\hat{\varepsilon}_p^m(\mathbf{r}, t)$  и  $\Delta\hat{\varepsilon}_{lc}^m(\mathbf{r}, t)$  можно представить в виде суммы пространственных гармоник:

$$\begin{aligned}\Delta\hat{\varepsilon}_p^m(\mathbf{r}, \tau) &= \sum_{i=0}^H \Delta\hat{\varepsilon}_{pi}^m(\mathbf{r}, \tau) \cos(i \cdot \mathbf{K}^m \cdot \mathbf{r}) \\ \Delta\hat{\varepsilon}_{lc}^m(\mathbf{r}, \tau) &= \sum_{i=0}^H \Delta\hat{\varepsilon}_{lci}^m(\mathbf{r}, \tau) \cos(i \cdot \mathbf{K}^m \cdot \mathbf{r})\end{aligned}, \quad (2)$$

где  $\tau = t/T_m$  – относительное время;  $T_m$  – характерное время диффузии,  $\mathbf{K}^m$  – векторы решеток. Тогда амплитуды гармоник диэлектрической проницаемости связаны с амплитудами гармоник показателя:

$$\begin{aligned}\Delta\hat{\varepsilon}_{pi}^m(\mathbf{r}, \tau) &= 2n_p \Delta n_{pi}^m(\mathbf{r}, \tau) \cdot \hat{\mathbf{I}} \\ \Delta\hat{\varepsilon}_{lci}^o(\mathbf{r}, \tau) &= 2n_{lc}^o \Delta n_{lci}^o(\mathbf{r}, \tau) \cdot \hat{\mathbf{I}} \\ \Delta\hat{\varepsilon}_{lci}^e(\mathbf{r}, \tau) &= 2(n_{lc}^o \Delta n_{lci}^o(\mathbf{r}, \tau) - n_{lc}^e \Delta n_{lci}^e(\mathbf{r}, \tau)) \cdot \mathbf{CC}\end{aligned}, \quad (3)$$

где  $n_p = \sqrt{\varepsilon_p}$  – невозмущенное значение показателя преломления полимерной составляющей образца,  $n_{lc}^e = \sqrt{\varepsilon^e}$ ,  $n_{lc}^o = \sqrt{\varepsilon^o}$ ;  $\Delta n_{lci}^m(\mathbf{r}, \tau)$ ,  $\Delta n_{pi}^m(\mathbf{r}, \tau)$  – амплитуды гармоник показателя преломления ЖК и полимера.

Амплитуды гармоник показателя преломления ( $i = 0 \dots H$ ) определяются решением систем  $H+1$  кинетических уравнений для концентрации мономера и показателя преломления:

$$\frac{\partial \Delta M_i^m(\mathbf{r}, \tau)}{\partial \tau} = -i^2 M_i^m(\mathbf{r}, \tau) + \sum_{l=0}^H a_{i,l}^m(\mathbf{r}, \tau) M_l^m(\mathbf{r}, \tau), \quad (4)$$

$$\frac{\partial \Delta n_{pi}^m(\mathbf{r}, \tau)}{\partial \tau} M_n = -\delta n_p \cdot \sum_{l=0}^H a_{i,l}^m(\mathbf{r}, \tau) M_l^m(\mathbf{r}, \tau)$$

$$\frac{\partial \Delta n_{lci}^m(\mathbf{r}, \tau)}{\partial \tau} M_n = \delta n_d \cdot i^2 M_i^m(\mathbf{r}, \tau)$$

где  $M_n$  – начальная концентрация мономера;  $M_i^m(\mathbf{r}, \tau)$  – амплитуды гармоник концентрации мономера,  $\delta n_p$ ,  $\delta n_d$  – коэффициенты, описывающие вклад фотополимеризации и диффузии в процесс записи ГДС. Приведена матрица коэффициентов:

$$a_{j,l}^m(\mathbf{r}, \tau) = - \left\{ \begin{array}{cccccccc} e_1^m & e_2^m & e_3^m & 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 \\ 2e_2^m & e_{11}^m & e_2^m & e_3^m & 0 & \cdot & 0 & 0 \\ 2e_3^m & e_2^m & e_1^m & e_2^m & e_3^m & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & e_3^m & e_2^m & e_1^m & e_2^m & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e_3^m & e_2^m & e_1^m & \cdot & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdot & e_1^m & e_2^m \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdot & e_2^m & e_1^m \end{array} \right\}, \quad \begin{array}{l} e_1^m = \frac{2^k}{b_s^m} (1 + k(k-1)m_s^{m^2} / 4), \\ e_{11}^m = \frac{2^k}{b_s^m} (1 + 3k(k-1)m_s^{m^2} / 4), \\ e_2^m = \frac{2^k}{b_s^m} \frac{km_s^m}{2}, \\ e_3^m = \frac{2^k}{b_s^m} k(k-1)m_s^{m^2} / 8, \\ m_s^m = m^m(\mathbf{r}, \tau), b_s^m = b^m(\mathbf{r}, \tau) \end{array} \quad (6)$$

где параметр  $b^m(\mathbf{r}, \tau) = T_p^m(\mathbf{r}, \tau) / T_m(\mathbf{r})$  характеризует соотношение характерных времен фотополимеризационного  $T_p^m(\mathbf{r}, \tau)$  и диффузионного  $T_m(\mathbf{r})$  процессов.

Отношение скорости фотополимеризационного процесса к диффузионному процессу показывает изменение оптических свойств ФПМ-ЖК в сформированной ГДС. Характерные времена процессов определяются по формуле:

$$T_p^m(\mathbf{r}, \tau) = h \cdot \frac{1}{\sqrt{I^m(\mathbf{r}, \tau)}}, \quad (7)$$

$$T_m(\mathbf{r}) = \frac{1}{D_M \cdot |\mathbf{K}^m(\mathbf{r})|^2}, \quad (8)$$

где  $h$  – параметр, который учитывает свойства и состав фотополимеризующейся композиции;  $D_M$  – коэффициент диффузии мономера;  $I^m(\mathbf{r}, \tau)$  – распределение интенсивности записывающего поля с учетом фотоиндуцированного изменения коэффициента поглощения. Согласно (7) пространственное амплитудное распределение записывающего поля входит в  $T_p^m(\mathbf{r}, \tau)$  через выражение для интерференционной картины  $I^m(\mathbf{r}, \tau)$ , а распределение фазы, согласно (8), входит в  $T_m(\mathbf{r})$  через выражение для векторов решеток  $\mathbf{K}^m(\mathbf{r})$ .

В работе [14] описана методика, с помощью которой можно найти решение для пространственных гармоник показателя преломления:

$$n_{pi}^m(\mathbf{r}, \tau) = \delta n_p \cdot \sum_{l=0}^H a_{i,l}^m(\mathbf{r}, \tau) \sum_{p=0}^H A_{i,p}^m(\mathbf{r}, \tau) \frac{\exp(\lambda_p^m(\mathbf{r}) \cdot \tau) - 1}{\lambda_p^m(\mathbf{r})}, \quad (9)$$

$$n_{ci}^m(\mathbf{r}, \tau) = \delta n_d \cdot i^2 \sum_{p=0}^H A_{i,p}^m(\mathbf{r}, \tau) \frac{\exp(\lambda_p^m(\mathbf{r}) \cdot \tau) - 1}{\lambda_p^m(\mathbf{r})},$$

где обозначения и методика расчета коэффициентов  $A_{i,p}^m(\mathbf{r}, \tau)$ ,  $\lambda_p^m(\mathbf{r})$  приведены в [12].

Кинетика пространственного профиля показателя преломления определяется в виде суммы пространственных гармоник:

$$n^m(\mathbf{r}, \tau) = n_{st} + \sum_{i=0}^H [n_{pi}^m(\mathbf{r}, \tau) + n_{ci}^m(\mathbf{r}, \tau)] \cos(i \cdot \mathbf{K}^m \cdot \mathbf{r}), \quad (10)$$

где  $n_{st}$  – значение показателя преломления материала до начала процесса записи.

Уравнения (2)-(5), (9) и (10) являются общим решением нелинейного процесса записи ГДС в ФПМ-ЖК с учетом ее амплитудно-фазовой неоднородности.

Распределение фазы записывающего поля вдоль оси  $x$  представлено в виде разложения в ряд Тейлора:

$$\phi^m(\mathbf{r}) = \phi_{st}^m + \phi^{m \cdot 1} \cdot x + 0.5 \phi^{m \cdot 2} \cdot x^2, \quad (11)$$

тогда  $T_m(\mathbf{r}) = T_m \cdot (1 + \phi^{m \cdot} \cdot x / \phi^{m \cdot})^{-2}$ , где  $T_m$  соответствует однородному фазовому фронту записывающего поля (плоская волна).

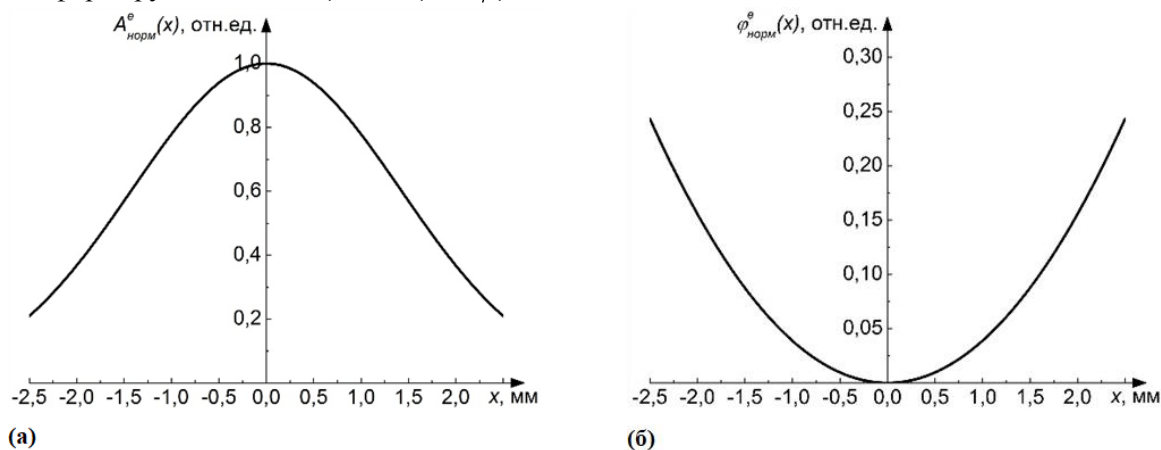
Параметр  $b^m(\mathbf{r}, \tau)$  описывает влияние неоднородностей формирующего поля на кинетику формирования, также этот параметр учитывает степень нелинейности процесса записи:

$$b^m(\mathbf{r}, \tau) = b^m \cdot f(\mathbf{r}, \tau), \quad (12)$$

где  $b^m$  – значение параметра в центре образца, а  $f^m(\mathbf{r}, \tau)$  учитывает амплитудно-фазовую неоднородность ГДС.

Неоднородности амплитудно-фазовых распределений формирующего поля влияют на изменение показателя преломления структуры.

На рисунке 2 (а) приведен нормированный амплитудный профиль интерференционной картины по поперечной координате  $A_{\text{норм}}^e(x) = I^e(x, \tau) / I_0^e(\tau)$ , где  $I_0^e(\tau)$  – интенсивность записывающего поля в центре формируемой ГДС. На рисунке 2 (б) приведено нормированное распределение фазы формирующего поля  $\phi^e(x) = \phi^e(x) / \phi^e$ .



**Рисунок 2.** Характеристики записывающего поля: а) нормированное амплитудное распределение; б) нормированное распределение фазы.

#### 4. Численное моделирование

Для определения влияния неоднородности амплитудно-фазовых распределений формирующего поля на изменение показателя преломления структуры проведено численное моделирование кинетики формирования ГДС двумя пучками лазерного излучения, без учета затухания. Поляризация записывающих пучков совпадает с необыкновенными волнами в образце.

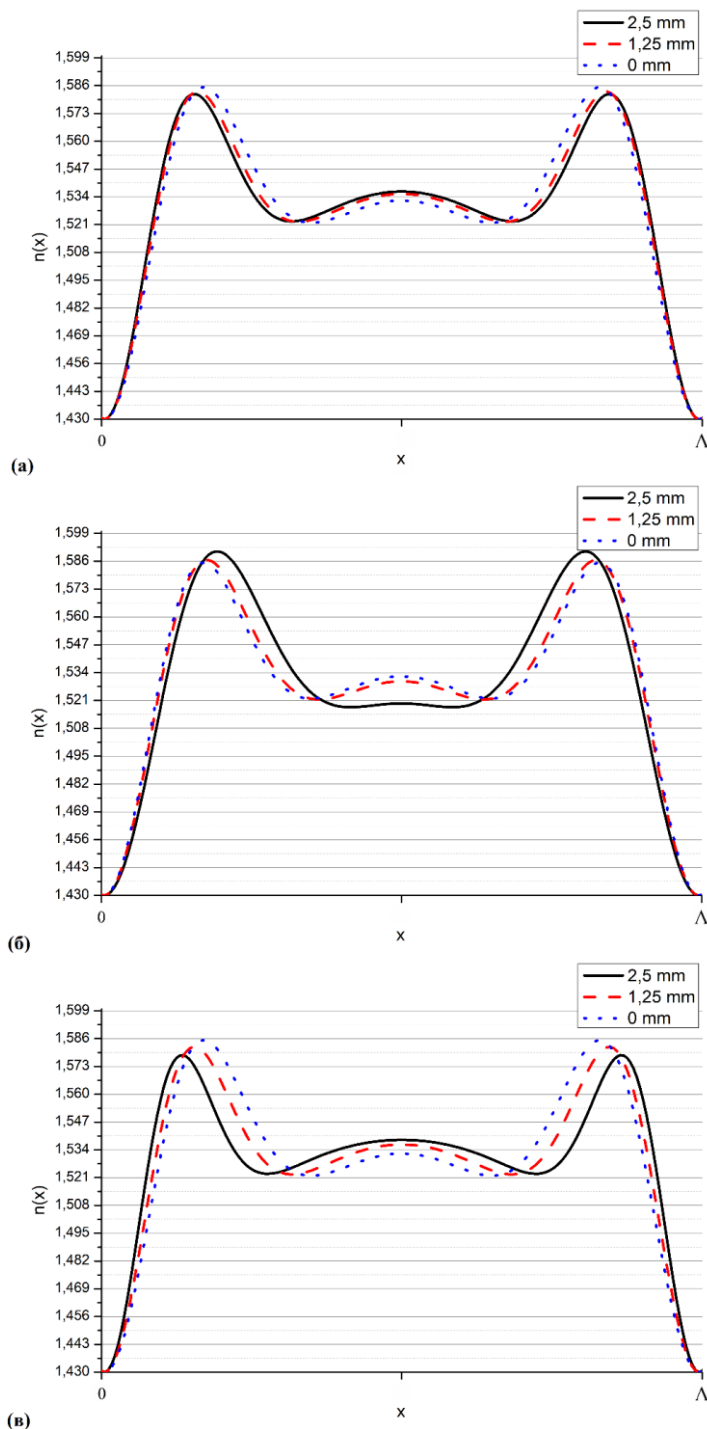
Амплитудные профили гармоник вида  $n_i^e(\mathbf{r}, \tau) = n_{\text{ici}}^e(\mathbf{r}, \tau) + n_{\text{pi}}^e(\mathbf{r}, \tau)$  рассчитаны по выражению (10) с учетом отдельно амплитудной и фазовой, а также амплитудно-фазовой неоднородностей формирующего поля (рисунок 2). Длина волны записи  $\lambda = 0.633$  мкм, углы падения  $\theta_0 = \theta_1 = 10^\circ$ .

Параметр  $b^e$  в центре образца взят равным 0.3, так как при значении  $b^e$  меньше единицы профиль показателя преломления близок к прямоугольному, а также при  $0.1 < b^e < 0.4$  вклад высших пространственных гармоник в изменение показателя преломления ГДС превышает вклад первой пространственной гармоники [11].

В связи с неоднородностью поля формирующего излучения в разных точках формируемой системы, пространственное распределение интерференционной картины будет разным, а, следовательно, и излучение будет по-разному влиять на процесс формирования. Из этого следует, что параметр  $b^e$  в разных точках формируемой системы будет разным, а, значит, в

соответствии с решением системы кинетических уравнений, амплитуды гармоник и вид профиля показателя преломления будут различными.

На рисунке 3 представлен пространственный профиль показателя преломления при амплитудно-фазовой (а), амплитудной (б) и фазовой (в) неоднородности в трех точках записывающего поля. На рисунке в мм. указано расстояние от центра сформированной структуры ( $n\Lambda/2$ ) до центра поля записывающего излучения, падающего на образец.  $\Lambda$  – период структуры,  $n$  – номер структуры.  $\Lambda \approx 1.8$  мкм.



**Рисунок 3.** Пространственный профиль показателя преломления при амплитудно-фазовой (а), амплитудной (б) и фазовой (в) неоднородности записывающего поля.

## 5. Расчет модового состава излучения, способного распространяться в волноводах в ФПМ-ЖК

Далее сформированная ГДС исследовалась как система периодически расположенных волноводных каналов. Подобно работам [7,13], на основе решения дисперсионного уравнения был определен модовый состав излучения, способного распространяться в волноводных каналах, сформированных неоднородным полем записывающего излучения.

Сначала, вид профиля показателя преломления сформированной структуры в нескольких точках образца был аппроксимирован функцией (13) профиля показателя преломления градиентного волновода [14].

$$n(x) = n_2 \times \sqrt{1 - 2 \times \Delta \times \left(\frac{x}{a}\right)^a}, \quad (13)$$

где  $n_2$  – показатель преломления сформированного канала;  $\Delta$  – относительная разность показателей преломления;  $a$  – параметр профиля волновода.

Максимальное число  $M$  направляемых мод, способных распространяться в волноводе определено из выражения (14):

$$M = \frac{a}{a+2} \times a^2 \times k^2 \times n_2^2 \times \Delta. \quad (14)$$

На рисунке 4 представлен модовый состав волноводных каналов с учетом неоднородности в различных точках записывающего поля.

Из рисунков 3 и 4 видно, что при формировании структуры неоднородным полем вид профиля показателя преломления различен в разных областях материала, и в соответствии с профилем изменяется и модовый состав излучения, способного распространяться в волноводах, сформированных в разных точках образца.

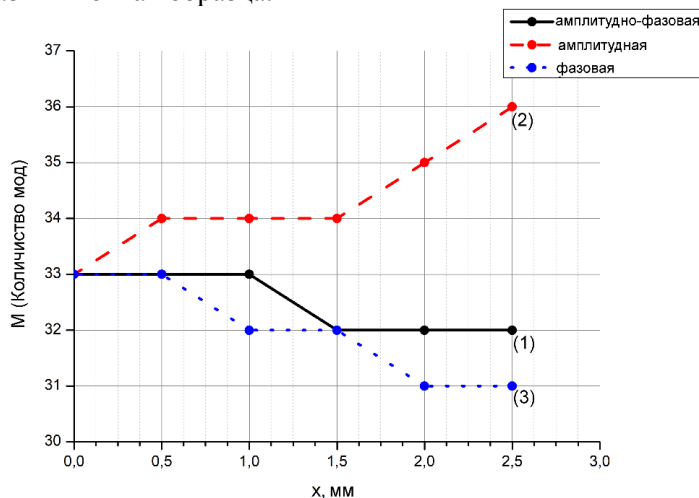


Рисунок 4. Модовый состав волноводных каналов с учетом амплитудно-фазовой (1), амплитудной (2) и фазовой (3) неоднородности записывающего поля.

## 6. Заключение

Таким образом, в работе приведены результаты моделирования влияния неоднородности амплитудно-фазового распределения формирующего поля на характеристики системы волноводных каналов ФПМ-ЖК с учетом анизотропии оптических свойств материала, ангармонического характера формируемой структуры. Определен вид профиля показателя преломления в разных точках образца, а также модовый состав излучения при формировании системы волноводных каналов полем с амплитудной, фазовой и амплитудно-фазовой неоднородностями. Полученные результаты в совокупности с результатами работ [7,13,15,16] могут быть использованы для разработки интегрально-оптических устройств на основе фотополимерно-жидкокристаллических композиций.

## 7. Литература

- [1] Гюльназаров, Э.С. К вопросу о теории голографической записи на фотополимеризующемся материале / Э.С. Гюльназаров, В.В. Обуховский, Т.Н. Смирнова // Оптика и спектроскопия. – 1990. – Т. 69, № 1. – С. 178-182.
- [2] Liu, Y.J. Holographic Polymer-Dispersed Liquid Crystals: Materials, Formation, and Applications / Y.J. Liu, X.W. Sun // Advances in OptoElectronics. – 2008. Vol. 2008. – P.1–52. DOI: 10.1155/2008/684349.
- [3] Close, D.H. Hologram recording on photopolymer materials / D.H. Close, A.D. Jacobson, J.D. Margerum, R.G. Brault, F.J. McClung // Appl. Phys. Lett. – 1969. – Vol. 14(5). – P. 159-160.
- [4] Шелковников, В.В. Фотополимерная композиция для записи голограмм / В.В. Шелковников, Т.Н. Герасимова, Е.Ф. Пен, А.В. Константинова, Ю.А. Сазонов, А.В. Лоскутов, В.Н. Бережная, А.М. Синюков // Патент РФ на изобретение №2222038.
- [5] Семкин, А.О. Экспериментальное исследование формирования и считывания неоднородных голографических ФПМ-ЖК структур / А.О. Семкин, С.Н. Шарангович, Е.В. Васильев, В.В. Шелковников // Ученые записки физического факультета Московского университета. – 2015. – № 4. – С. 154304-1-3.
- [6] Викулина, И.А. Теоретическая модель голографического формирования системы управляемых волноводных каналов в композиционных ФПМ-ЖК материалах / И.А. Викулина, К.О. Гусаченко, Д.И. Дудник, А.О. Семкин // Материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2016». – Томск: Из-во «В-Спектр», 2016. – Т. 2. – С. 260-263.
- [7] Дудник, Д.И. Исследование условий распространения оптического излучения в волноводных каналах, сформированных в ФПМ-ЖК, при воздействии внешнего электрического поля / Д.И. Дудник, И.А. Викулина, К.О. Гусаченко, А.О. Семкин // Сборник избранных статей Научной сессии ТУСУР. – Томск, 2018. – Т. 2. – С. 201-204.
- [8] Устюжанин, С.В. Динамически управляемые дифракционные структуры на основе фотополимерных жидкокристаллических материалов для оптических систем связи // Дис. кан. физ.-мат. наук. – Томск, 2013. – 176 с.
- [9] Aabbate, G. Dynamical Electro- Optical Characterization of Polycryps Gratings / G. Aabbate, A. Marino, F. Vita // Acta Physica Polonica A. – 2003. – Vol. 103(2-3). – P. 177-186.
- [10] Richard, L. Sutherland. Polarization and switching properties of holographic polymer-dispersed liquid-crystal grating. I. Theoretical model // JOSA B. – 2002. – Vol. 19(12). – P. 2995-3003.
- [11] Семкин, А.О. Трехмерная модель голографического формирования неоднородных дифракционных ФПМ-ЖК структур / А.О. Семкин, С.Н. Шарангович // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2018. – Т. 61, № 1. – С. 51-58.
- [12] Довольнов, Е.А. Нелинейная модель записи и считывания голографических дифракционных решеток пропускающего типа в поглощающих фотополимерах. 1. Теоретический анализ / Е.А. Довольнов, С.Н. Шарангович // Изв. вузов. Физика. – 2005. – Т. 48, № 5. – С. 56-63.
- [13] Дудник, Д.И. Исследование условий волноводного режима распространения оптического излучения в волноводных каналах в фотополимерно-жидкокристаллических композициях. / Д.И. Дудник, И.А. Викулина, К.О. Гусаченко, А.О. Семкин // Электронные средства и системы управления. – 2017. – № 1-1. – С. 187-189.
- [14] Серебрякова, В.С. Интегральная оптика: учеб. пособие // В.С. Серебрякова, В.Ф. Пашин, Е.В. Стригалева. – СПб., 2012. – 86 с.
- [15] Дудник, Д.И. Влияние угла падения записывающих пучков на гармонический состав голографических дифракционных структур в фотополимерных материалах / Д.И. Дудник, И.А. Викулина, К.О. Гусаченко, А.О. Семкин // Материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2017». – 2017. – Т. 3. – С. 21-23.
- [16] Семкин, А.О. Экспериментальное исследование голографических дифракционных ФПМ-ЖК-структур / А.О. Семкин, С.Н. Шарангович, Е.В. Васильев, Д.И. Дудник, И.А.



Викулина, К.О. Гусаченко // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2017. – Т. 20, № 1. – С. 29-32.

#### **Благодарности**

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Госзадания (Проект № 3.1110.2017/4.6) и ФСИ в рамках программы «УМНИК» (договор №12893 ГУ/2018).

## **Investigation of the characteristics of the system of waveguide channels formed in PDLC with inhomogeneity of the amplitude-phase distribution of the forming field**

**D.I. Dudnik<sup>1</sup>, I.A. Kvasova<sup>1</sup>, K.O. Gusachenko<sup>1</sup>, A.O. Semkin<sup>1</sup>, S.N. Sharangovich<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Lenina 40, Tomsk, Russia, 634050

**Abstract.** This work presents the results of modeling the influence of amplitude, phase and amplitude-phase heterogeneities of the forming field on the spatial distribution of the refractive index profile and, accordingly, the mode composition of radiation capable of propagating in waveguides formed by the holographic method in the photopolymer-liquid crystalline compositions. The spatial distribution of the refractive index is found by solving the system of kinetic equations. The mode composition of the radiation is determined by solving the dispersion equation for TE-modes.