

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ, ФОРМИРОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ДИФРАКЦИОННЫХ СТРУКТУР В ФПМ-ЖК

К. В. Волченко, С. А. Кругляков

Ключевые слова: программный комплекс, голографические дифракционные структуры, дифракционные характеристики, дифракция Брэгга.

Сегодня развитие инноваций в сфере оптических устройств с каждым годом набирает всё новые обороты. Голографические дифракционные структуры (ГДС) в композиционных фотополимерно-жидкокристаллических материалах (ФПМ-ЖК) являются одним из перспективных базовых элементов оптических устройств. Таким образом, исследования процессов формирования и считывания ГДС представляются весьма актуальными.

Задачи голографической записи связаны с изучением физико-химических свойств самой среды и в протекающих ней процессов. Для оптимизации параметров композиционных сред и схемы записи необходимо провести множество экспериментов и обработать соответствующий объем данных. При этом, если среда и записываемая в ней структура неоднородны, оптические свойства среды анизотропны и могут изменяться при внешнем воздействии (все это характерно для ФПМ-ЖК), количество необходимых экспериментов и объем обрабатываемых данных значительно увеличивается. В данном случае возможна замена экспериментальных исследований численным моделированием на основе физически обоснованных теоретических моделей с дальнейшей проверкой результатов на практике для некоторых случаев. Автоматизация описанных процессов сокращает время проведения комплекса исследований. Цель данной работы – разработка единого программно-аппаратного комплекса для моделирования дифракционных характеристик и управления экспериментальной установкой записи и считывания ГДС в ФПМ-ЖК.

На данной экспериментальной установке (рис. 1) запись ГДС проводится по классической двухпучковой схеме линейно поляризованным лазерным излучением с длиной волны 633 нм (в области максимума поглощения красителя ФПМ-ЖК). Мощность записывающих пучков не превышает 1 мВт. Управление оптическими затворами (ОЗ на рис. 1) и считывание показаний фотоприемников (ФД) производится через блок управления, подключенный к ПК. Таким образом, установка предполагает программное управление.

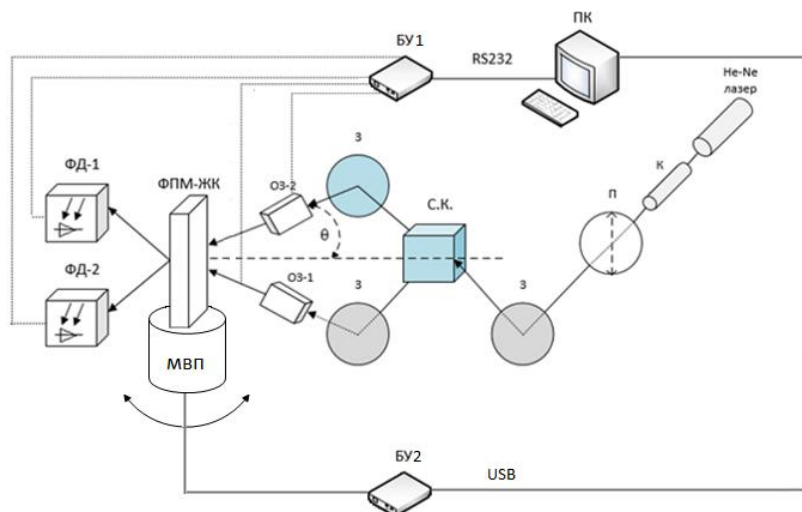


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: БУ – блок управления, С.К. – светоделительный кубик, ПК – персональный компьютер, ОЗ – оптический затвор, К – коллиматор, З – зеркало, ФД – фотоприемник, П – поляризатор, МВП – моторизованный вращающийся столик

Разрабатываемый программный комплекс должен обеспечивать возможность моделирования основных характеристик голографических структур и возможность управления элементами экспериментальной установки (рис. 1).

За основу для программного модуля моделирования дифракционных характеристик взята теоретическая модель, разработанная в [1-5]. Рассмотрена двумерная дифракция Брэгга необыкновенных волн на ГДС при воздействии внешнего пространственно неоднородного электрического поля. В этом случае амплитуды взаимодействующих волн могут быть найдены путем решения системы уравнений связанных волн (УСВ) [5]:

$$\mathbf{N}_{r0}^e \cdot \nabla E_0^e(\mathbf{r}) = -iC_1^e(\mathbf{r})E_1^e(\mathbf{r}) \exp(+i\theta(\mathbf{r})), \quad (1)$$

$$\mathbf{N}_{r0}^e \cdot \nabla E_0^e(\mathbf{r}) = -iC_1^e(\mathbf{r})E_1^e(\mathbf{r}) \exp(+i\theta(\mathbf{r})), \quad (2)$$

где $C_{0,1}^e(\mathbf{r}) = \frac{1}{4} \frac{\omega}{c_c n_0^e} \mathbf{e}_{1,0}^e(\mathbf{r}) \cdot \Delta \hat{\epsilon} \cdot \mathbf{e}_{0,1}^e(\mathbf{r})$ – локальные коэффициенты связи; $\mathbf{e}_i^e(\mathbf{r})$ – векторы поляризации; $i = 0, 1$ – порядок дифракции; $\Delta \hat{\epsilon}$ – возмущение диэлектрической проницаемости образца, характеризующее периодическую неоднородность оптических свойств ГДС;

$\mathbf{N}_{r0,1}^e$ – групповые нормали; c_c – скорость света; $\theta(\mathbf{r})$ – параметр интегральной фазовой расстройки, определяющий влияние пространственной неоднородности управляющего электрического поля на условия дифракции световых волн.

Решая УСВ (1), (2) в оптически неоднородной среде в приближении заданного поля [5], представим распределение амплитуды дифракционного светового поля по угловому спектру (УС):

$$E_d(\theta, E) = E_p(\theta) \cdot T_d(\Delta, E), \quad (3)$$

где введена передаточная функция (ПФ) ГФС:

$$T_d(\Delta, E) = \frac{1}{d} \cdot \int_0^d C(\mathbf{r}) \cdot \exp \left[i \cdot \left(\Delta \frac{y}{d} + \theta(\mathbf{r}) \right) \right] dy, \quad (4)$$

$E_p(\theta)$ – УС падающего светового поля; $C(y, E)$ – амплитудный коэффициент связи; $\Delta = f(\delta\theta)$ – относительная фазовая расстройка; $\delta\theta = \theta - \theta_0$ – отклонение от угла Брэгга θ_0 , угол θ характеризует направление плосковолновых компонент УС $E_d(\theta, E)$ относительно волновых нормалей $\mathbf{N}_d$ световых пучков.

На рис. 2 представлено главное окно программного комплекса для моделирования дифракционных характеристик ГДС при воздействии биполярного внешнего электрического поля согласно описанной модели.

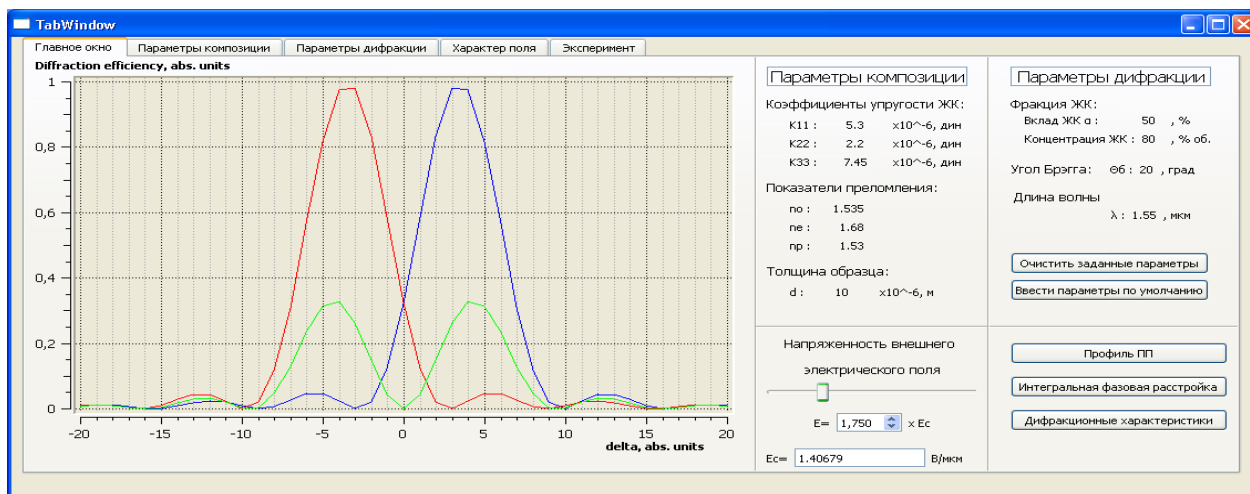


Рис. 2. Главное окно программного комплекса

В программном комплексе реализована возможность анализа характеристик структур при воздействии пространственно неоднородного электрического поля, форму которого задает пользователь (рис. 3).

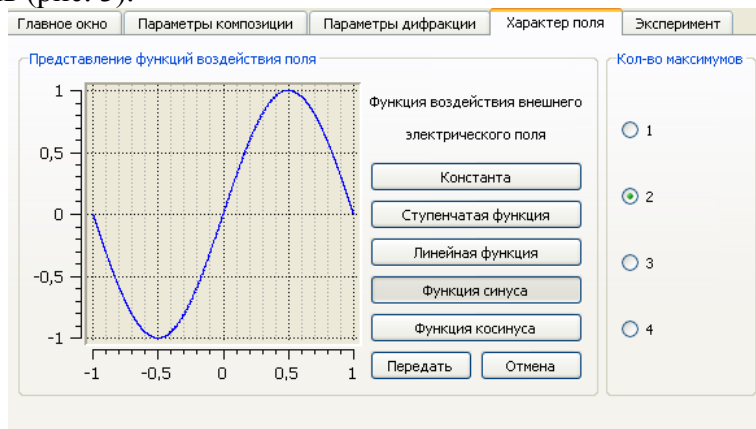


Рис. 3. Характер поля

Экспериментальные исследования, проводимые на установке (рис. 1), можно разделить на два типа: исследование процессов формирования структур и исследование их дифракционных характеристик.

Процесс формирования дифракционных структур, т.е. эксперимент записи, производится двумя линейно поляризованными пучками когерентного лазерного излучения. Имеющийся электронный блок управления оптическими затворами и фотоприемниками (см. рис. 1) позволяет производить запись ГДС в импульсном режиме [1,6], а также анализировать кинетику формирования структуры в режиме реального времени путем закрытия одного из затворов на короткое время (порядка 50 мс) и считывания показателей фотоприемников.

Записанную дифракционную структуру можно оценить по ее дифракционной эффективности и угловой селективности, а также по изменению данных характеристик при воздействии электрического поля, в том числе пространственно-неоднородного. Для проведения данных экспериментов необходимо провести считывание показаний фотоприемников установки (рис. 1) при падении на образец ФПМ-ЖК одного линейно поляризованного пучка оптического излучения. Вращение образца для оценки угловой селективности выполняет моторизованный вращающийся столик (рис. 1).

Элементы программного управления устройствами установки, которые необходимы для реализации экспериментов записи и считывания, связывающиеся с управляемыми элементами с помощью блоков управления, представлены в окне программы на рис. 4.

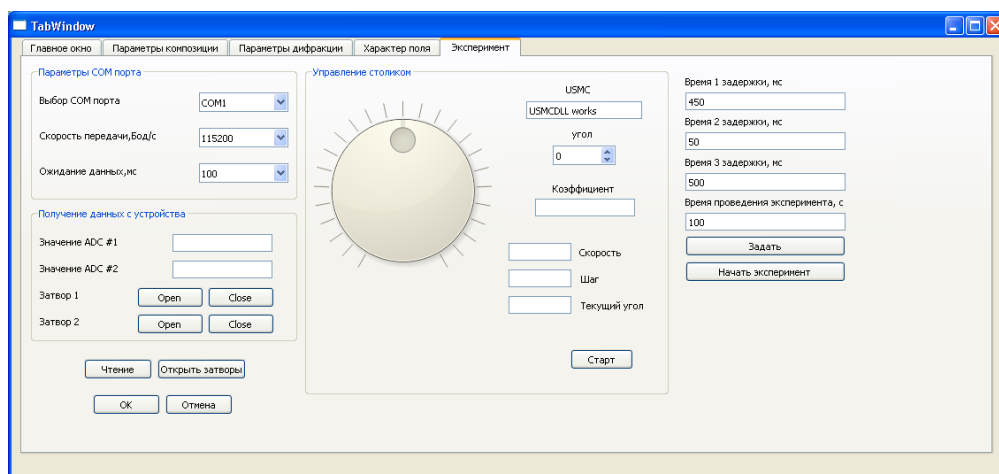


Рис. 4. Экспериментальный модуль программы для управления устройствами экспериментальной установки: оптическими затворами, фотоприемниками и поворотным столиком

Таким образом, на данный момент разработан программный комплекс для моделирования и графического отображения дифракционных характеристик ГДС. Реализована возможность задания произвольных параметров композиции и дифракции, возможность выбора характера, действующего на ГДС внешнего электрического поля. Разработан модуль для управления поворотным столиком экспериментальной установкой по USB-интерфейсу и модуль для управления оптическими приемниками и затворами по интерфейсу RS-232.

Программный комплекс разработан на языке C++ в среде Qt Creator с использованием библиотеки обработки данных Qwt.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Довольнов Е.А., Шارانгович С.Н. Нелинейная модель записи и считывания голографических дифракционных решеток пропускающего типа в поглощающих фотополимерах. 1. Теоретический анализ // Известия вузов. Физика. – 2005. – Т.48. – №5. – С. 56-63.
2. Довольнов Е.А., Шارانгович С.Н. Нелинейная модель записи и считывания голографических дифракционных решеток пропускающего типа в поглощающих фотополимерах. 2. Численное моделирование и эксперимент // Известия вузов. Физика. – 2005. – Т.48. – №7 – С. 85-92.
3. Семкин А.О., Шارانгович С.Н. Взаимодействие световых пучков с голографическими фотонными ФПМ-ЖК-Структурами при неоднородном управляющем электрическом поле // Известия вузов. Физика – 2013. – Т. 56, № 9/2 – С. 21-24.
4. Семкин А.О., Шارانгович С.Н. Дифракционные характеристики фотонных ФПМ-ЖК структур при сложной дискретной пространственной неоднородности управляющего поля // Доклады ТУСУРа – 2014. – № 1(31) – С. 136-140.
5. Дифракция света на фотонных ФПМ-ЖК структурах при воздействии плавно пространственно неоднородного электрического поля / А.О. Семкин, С.Н. Шارانгович, К.В. Волченко, В.О. Долгирев, А.В. Куркин // Известия вузов. Физика. 2015. – Том 58. – № 11/3. – С.88-91.
6. Импульсная запись пропускающих и отражающих голографических дифракционных решеток в поглощающих фотополимерах. 2. Численное моделирование и эксперимент / Е.А. Довольнов, В.Г. Миргород, Е.Ф. Пен, С.Н. Шارانгович, В.В. Шелковников // Известия вузов. Физика. 2007. – Том 50. – № 4. – С.34-39.