

**Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого
Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций**

На правах рукописи

Кузьмин Михаил Сергеевич

**Когерентные оптические системы обработки информации на основе
жидкокристаллического устройства ввода с электронным управлением**

Направление подготовки 03.06.01 Физика и астрономия

Код и наименование

Направленность 03.06.01_11 Лазерная физика

Код и наименование

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД

об основных результатах научно-квалификационной работы (диссертации)

Автор работы: Кузьмин М.С.

Научный руководитель:
профессор, д.ф.-м.н., Рогов С.А.

Санкт Петербург – 2018

Научно-квалификационная работа выполнена в Высшей школе прикладной физики и космических технологий Института физики, нанотехнологий и телекоммуникаций федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Директор ВШ:

Величко Елена Николаевна,
доцент, к.т.н.

Научный руководитель:

Рогов Сергей Александрович,
профессор, д.ф.-м.н.

Рецензент:

Страхов Сергей Юрьевич
доцент, д.т.н.
Балтийский Государственный
Технический Университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова,
декан факультета
«Информационные и
управляющие системы».

С научным докладом можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» и на сайте Электронной библиотеки СПбПУ по адресу: <http://elib.spbstu.ru>

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Возможности параллельной обработки информации в оптических системах в наибольшей степени раскрываются с использованием двумерных устройств ввода входных данных – пространственных модуляторов света (ПМС). В последние годы характеристики этих устройств значительно улучшились. Если раньше это были лабораторные образцы, часто громоздкие, которые имели низкое разрешение и быстроедействие, то теперь появились приборы, выпускаемые промышленностью, компактные, надежные, с хорошими параметрами. В первую очередь это относится к устройствам на жидких кристаллах (ЖК) для телевидения, фото и видео аппаратуры, а также специально разработанные ПМС. Применение этих устройств открывает широкие возможности для создания оптических систем обработки информации.

К настоящему времени разработаны принципы работы большого числа оптических систем обработки, практическое применение которых в значительной мере сдерживалось отсутствием хороших ПМС.

Цель и задачи исследования

Целью научного исследования является теоритическое и экспериментальное исследование когерентных оптических систем обработки информации на основе жидкокристаллического устройства ввода с электронным управлением.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие основные задачи:

1. Выбрать и исследовать характеристики ЖК матрицы, удовлетворяющей требованиям когерентной оптики.
2. Разработать программный комплекс для управления ПМС, учитывая полученные характеристики.
3. Создать действующий макет оптического фурье-процессора.
4. Провести исследование систем оптической обработки информации, реализуемых на основе разработанного маета: анализаторов пространственных спектров и оптических корреляторов изображений и сигналов, спектроанализатора и коррелятора длинных сигналов с использованием методов свернутого спектра.

Научная новизна

Исследована возможность применения современных (ЖК) матриц для видеоаппаратуры в качестве ПМС в когерентных системах оптической обработки информации.

Впервые проведены экспериментальные исследования и оценка достижимых параметров ряда оптических систем обработки информации с использованием современных пространственных модуляторов света (ПМС),

в том числе коррелятор совместного преобразования с фазовым вводом, гибридная оптико-цифровая система распознавания изображений, система формирования динамических фазовых транспарантов.

Предложены новые методы и схемы оптической обработки сигналов и изображений: новый метод нелинейной обработки спектра в корреляторе совместного преобразования, схема коррелятора длинных сигналов на основе фурье-процессора со свернутым спектром, метод параллельного ввода сигналов в ЖК ПМС. Большинство новых схем и методов исследовано экспериментально.

Теоретическая и практическая значимость

Проведено теоретическое рассмотрение принципов работы и оценка параметров предложенных систем. Рассмотрено влияние нелинейной обработки совместного спектра на динамический диапазон коррелятора совместного преобразования.

Практическая значимость состоит в разработке методов и схем оптической обработки информации, близких к практическому применению и имеющих параметры, превосходящие другие аналогичные системы.

Апробация работы

Основные результаты научного исследования докладывались и обсуждались на конференциях: «Лазеры, измерения, информация – 2013» (Санкт-Петербург, 2013г.), «Лазеры, измерения, информация – 2014» (Санкт-Петербург, 2014г.), IV Международная конференция «Фотоника и информационная оптика» (Москва, 2015г.), VII «Фотоника и информационная оптика» (Москва, 2018г.).

Публикации

Основные результаты научно-квалификационной работы опубликованы в 7 печатных работах, в том числе 7 в журналах, рекомендованных ВАК.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Блок-схема устройства оптической обработки информации представлена на рис.1, интерфейс ввода данных отправляет обрабатываемые данные на входной преобразователь, который в соответствии с ними осуществляет модуляцию двумерного светового потока от источника света во времени и по пространству. Входным преобразователем может быть акустооптический модулятор, фотопленка или другой пространственный модулятор света (ПМС).

Оптическое вычислительное устройство состоит из линз, диафрагм и других оптических элементов, оказывающих влияние на проходящий через них световой поток, в том числе и электрически управляемых оптических элементов.

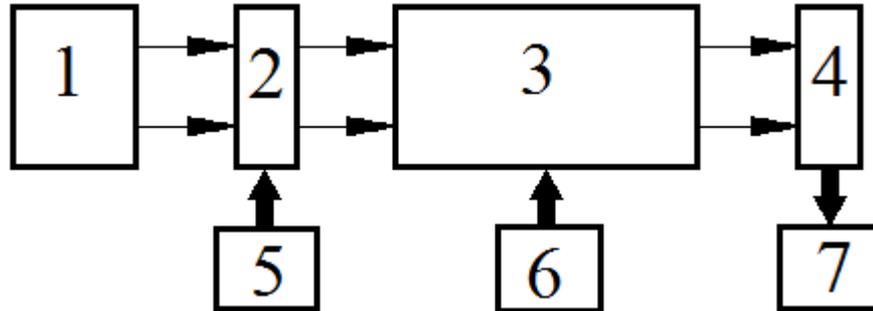


Рис. 1. Блок-схема устройства оптической обработки информации.

1- источник света, 2 – входной преобразователь, 3 – оптическое вычислительное устройство, 4 – выходной преобразователь, 5 – интерфейс ввода данных, 6 – блок управления, 7 – интерфейс вывода данных

Выходной сигнал оптической системы преобразуется выходным преобразователем, например ПЗС матрицей, и отправляется на интерфейс вывода данных.

Основным достоинством оптических систем обработки является высокая скорость выполнения сложных операций над двумерными массивами. Вычисления происходят со скоростью прохождения света через систему.

В качестве оптического вычислительного устройства рассмотрим анализатор двумерного пространственного спектра, в основе работы которого лежит свойство линзы осуществлять преобразование Фурье.

Схема простейшего оптического анализатора спектра приведена на рис.2. Выходной сигнал системы с такими параметрами равен преобразованию Фурье входного сигнала:

$$u_2(x_2, y_2) = K \iint_{-\infty}^{\infty} u_1(x_1, y_1) e^{-i(2\pi/\lambda f)(x_1 x_2 + y_1 y_2)} dx_1 dy_1, \quad (1)$$

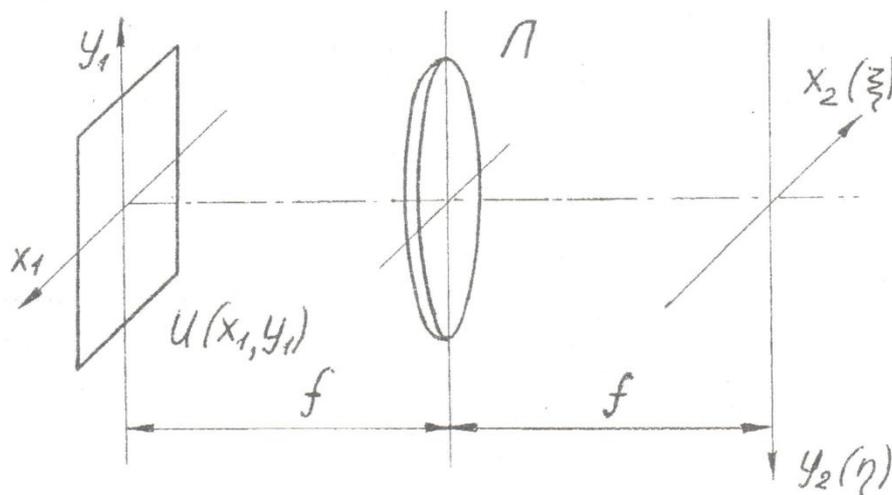


Рис. 2. Когерентный оптический анализатор спектра

Пространственные частоты входного сигнала в данном анализаторе отображаются в масштабе: $\xi = x_2 / \lambda f$, $\eta = y_2 / \lambda f$.

Описанная схема является одной из главных составляющих оптических систем обработки информации, например, коррелятора совместного преобразования.

В корреляторе совместного преобразования (рис 3) два входных пространственных сигнала, имеющие во входной плоскости размеры, не превышающие величины a , располагаются на расстоянии $2a$.

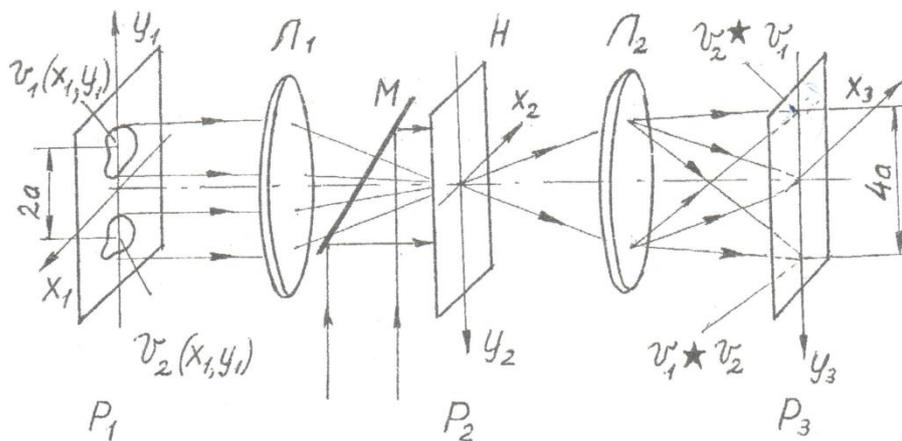


Рис. 3. Коррелятор совместного преобразования

Сигнал в фокальной плоскости первой линзы (Л1) равен Фурье-образу от входного сигнала. Квадрат модуля этого распределения записывается на регистрирующей среде в виде голограммы. Голограмма с такой записью

освещается плоской световой волной. После обратного Фурье-преобразования, осуществляемого второй линзой (Л2), распределение в выходной плоскости определяется формулой:

$$u_3(x_3, y_3) \sim v_1 \star v_1 + v_2 \star v_2 + v_1 \star v_2 \otimes \delta(x_3, y_3 - 2a) + v_2 \star v_1 \otimes \delta(x_3, y_3 + 2a), \quad (2)$$

где \star — знак корреляции, \otimes — знак свертки.

Два разнесенных от оптической оси слагаемых представляют корреляцию входных сигналов, один из которых обычно называют входным, а другой – опорным.

Рассмотренные выше схемы могут быть использованы для обработки, как изображений, так и сигналов.

Сигнал на входе анализатора со свернутым спектром представляется в виде растровой записи. Двумерное преобразование Фурье такого сигнала представляет собой его спектр, также распределенный в виде раstra, строки которого ортогональны строкам входного сигнала. Частотный спектр сигнала при этом имеет плохое разрешение по одной оси и высокое частотное разрешение по другой. Сигнал и соответствующее ему представление свернутого спектра полностью используют двумерную природу оптической системы, ее возможность производить параллельную обработку и реализовывать большие значения длительности и ширины полосы обрабатываемых сигналов, достижимые при оптической обработке. На рисунке 4 показана простейшая схема спектроанализатора со сферической линзой, использующая растровый тип записи входного сигнала.

Растровый формат записи одномерного сигнала представляет собой совокупность линий отстоящих на одинаковом расстоянии друг от друга. При этом на линиях записано некоторое количество точек характеризующих входной сигнал. Растровый формат из N строк, на котором записан исходный радиосигнал s, показан на рис. 5.

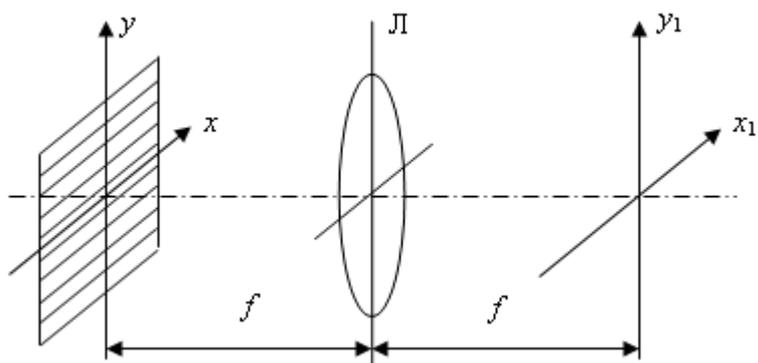


Рис. 4. Спектроанализатор со сферической линзой

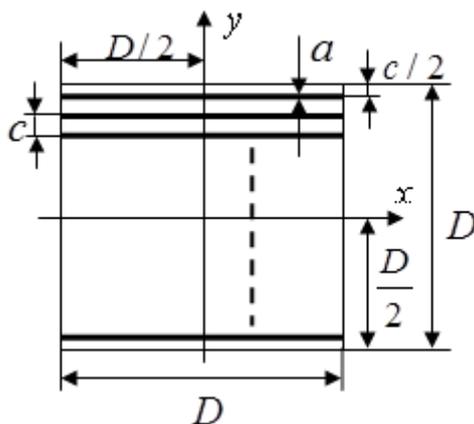


Рис. 5. Входной растровый формат

Запись сигнала на растре представляет собой двумерный входной сигнал $f(x, y)$, описываемый выражением:

$$f(x, y) = \sum_{n=1}^N s \left(x + \frac{2n-1}{2} D \right) \text{rect} \left(\frac{x}{D} \right) \left\{ \text{rect} \left(\frac{y}{a} \right) \otimes \delta \left[y - \frac{D - (2n-1)c}{2} \right] \right\}, \quad (3)$$

где $\text{rect } Z = 1$ для $Z \leq 1/2$, $\text{rect } Z = 0$ для остальных Z .

Тогда при прохождении сигнала через оптической канал (рис. 5) системы показанной на рис. 4, в выходной плоскости (x_1, y_1) будет реализован Фурье-образ входного сигнала $f(x, y)$.

Интенсивность света на выходе системы, после обработки сигнала описанного выражением (3) будет иметь вид:

$$I(\xi, \eta) \equiv |F_1(\xi, \eta)|^2 = a^2 D^2 \operatorname{sinc}^2 [\pi D(\xi - \xi_0)] \operatorname{sinc}^2(\pi a \eta) \times \frac{\sin^2 [\pi D(N-1)(\xi_0 + \eta/N)]}{\sin^2 [\pi D(\xi_0 + \eta/N)]}. \quad (4)$$

Из (1.4) следует:

$$I(\xi, \eta = \text{const}) = \operatorname{sinc}^2 [\pi D(\xi - \xi_0)] \quad (4a)$$

$$I(\xi = \text{const}, \eta) = \operatorname{sinc}^2(\pi a \eta) \frac{\sin^2 [\pi D(N-1)(\xi_0 + \eta/N)]}{\sin^2 [\pi D(\xi_0 + \eta/N)]} \quad (4б)$$

Описываемые выражениями (4a) и (4б) распределения интенсивности вдоль ортогональных координат показаны на рис 6а и 6б. Распределение на рис. 6а есть квадрат функции отсчетов с центром в точке $\xi = \xi_0$. Распределение на рис. 6б имеет более сложный характер.

На выходе фурье-процессора формируется свернутый спектр, частота в котором тоже располагается по растру с ориентацией строк, ортогональной входным, рис.7. Спектр, таким образом, формируется с точным отсчетом по одной координате (вертикальной на рис.7) и грубым отсчетом по другой.

В рассмотренных выше многоканальных системах используются многоканальные устройства ввода. Это может быть многоканальный акустооптический модулятор, либо другие варианты устройств ввода для таких систем – приборы для ввода двумерных оптических сигналов, в которых, одномерные сигналы могут записываться построчно на входе оптической системы с помощью электронного луча или матрицы с электронным управлением. В данной работе для ввода информации в исследуемые оптические системы было использовано матричное ЖК устройство ввода с электронным управлением.

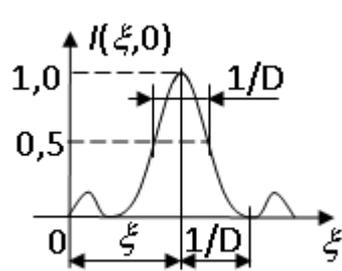


Рис. 6а. График функции $I(\xi, 0)$

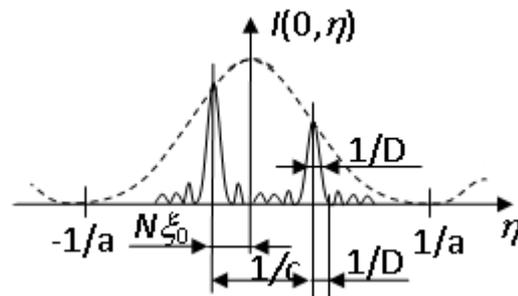


Рис. 6б. График функции $I(0, \eta)$

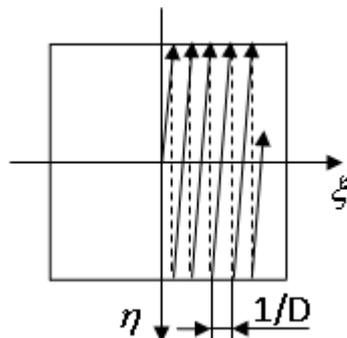


Рис. 7. Траектория пятна на выходе анализатора спектра при изменении частоты гармонического сигнала ξ_0

Среди ЖК ПМС с электрическим управлением наиболее подходящими для когерентной обработки информации являются, по-видимому, устройства, выпускаемые фирмы «Нолоеуе», однако они сравнительно дороги. Значительно дешевле ЖК матрицы для видеомониторов в телевидении, видеоаппаратуре и других устройствах; эти матрицы уже были опробованы в ряде устройств обработки информации. Поскольку такие матрицы предназначены для некогерентного света, они могут вносить в оптические устройства неконтролируемые фазовые ошибки, недопустимые для когерентных систем обработки. В некоторых случаях от этих ошибок можно избавиться помещением ПМС в иммерсионную жидкость, однако до последнего времени считалось, что применение таких матриц предпочтительнее в устройствах с частичной когерентностью, которые, как известно, имеют меньше возможностей по сравнению с когерентными.

Уменьшение в настоящее время размеров выпускаемых ЖК матриц и усовершенствование их технологии, привело к появлению устройств с небольшими фазовыми неоднородностями, которые все чаще встречаются среди готовых изделий. В работе исследовалась возможность применения в когерентных системах обработки информации одного из таких устройств - ЖК матрицы от цветного видеопроектора. В видеопроектор входит три матрицы, обеспечивающих цветное изображение. Для системы оптической обработки была использована одна из идентичных матриц. Число элементов матрицы составляло 1024×768 , размеры $10,5 \times 9$ мм². Максимальная скорость ввода изображений в оптическую систему с помощью этой матрицы составляла 70 кадр/с.

Управление ЖК ПМС осуществлялось с компьютера с помощью специально разработанного программного обеспечения на языке C# в среде программирования Visual Studio, которое позволяло подавать на вход оптической системы изображения и сигналы.

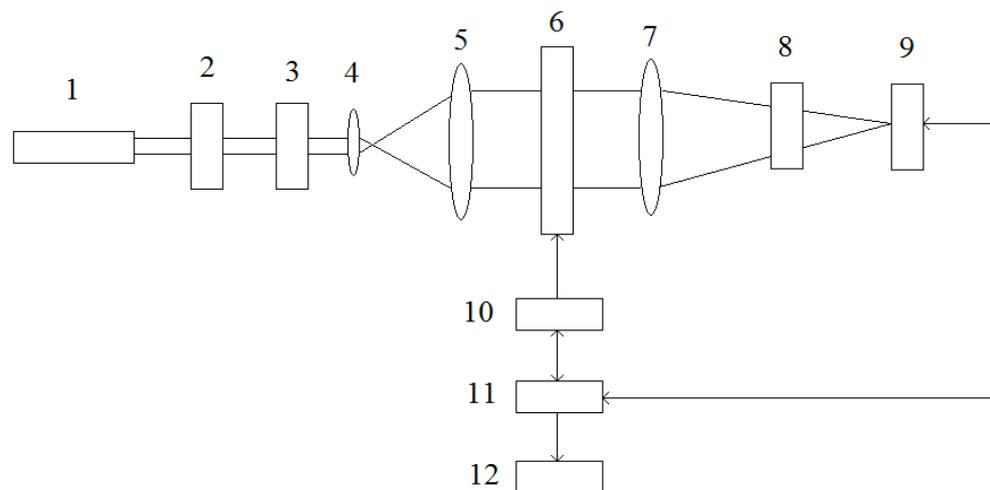
Важной особенностью программирования при вводе сигналов является учет характеристики ПМС: необходимо использовать специально подобранную подставку для сигналов, чтобы обеспечить линейный режим и ввод двуполярных сигналов с помощью чисто поглощающего транспаранта. Следует учитывать, что по модели RGB максимальный размах входного сигнала равен 256 (минимальное значение – 0, максимальное значение – 255).

Оптическая схема макета, разработанного для исследования оптических систем обработки информации с устройством ввода данных на основе ЖК ПМС, приведена на рис. 8. В этом устройстве свет полупроводникового лазера (1) пропускается через поляроид (2), ослабляющий нейтральный фильтр (3) и расширяется с помощью телескопической системы линз (4) и (5). Расширенный пучок модулируется в ПМС (6), после чего осуществляется преобразование Фурье входного пространственного сигнала с помощью линзы (7), в фокусе которого расположена WEB-камера (9) со снятым объективом. Перед камерой

помещен второй поляририд (8), подавляющий немодулированную компоненту света.

Входные двумерные сигналы вводятся в ПМС с компьютера (10), на котором установлено разработанное программное обеспечение, с использованием одного из блоков управления матрицами цветного видеопроектора (11). Выходные сигналы камеры вводятся в компьютер для дальнейшей обработки и для вывода на мониторы компьютера (12).

Поляризация лазера и поляририды оптической системы настраиваются так, чтобы при подаче максимального сигнала на матрицу на выходе наблюдалась максимальная интенсивность света, а при нулевом сигнале управления интенсивность была минимальной. Для получения максимальной эффективности работы ПМС, необходимо, чтобы поляризация падающего света совпадала с направлением “бороздок” на входном окне матрицы.



*Рис. 8. Схема оптического макета с жидкокристаллическим вводом:
1 – лазер, 2, 8 – поляризаторы, 3 – нейтральный фильтр, 4, 5 – линзы
расширителя светового пучка, 6 – ЖК ПМС, 7 – фурье-объектив,
9 – WEB-камера, 10 – компьютер, 11 – блок управления ЖК матрицей,
12 – мониторы*

В макете используется полупроводниковый лазер с длиной волны 670 нм, поэтому применяются линейные поляризаторы для указанной длины волны. Для предотвращения связанных с засветкой искажений выходного сигнала фотоприемника, в системе используется набор нейтральных фильтров с различным коэффициентом пропускания.

Макет оптической системы созданный, разработанный в соответствии со схемой на рис. 8, способен без конструктивных изменений, обеспечить реализацию нескольких алгоритмов оптической обработки информации.

Для измерения характеристик ПМС потребовалась установка регистрирующего устройства (фотоприемника) на выходе оптической системы и доработка программного обеспечения для считывания его выходных сигналов. В качестве фотоприемника использовалась веб-камера с разрешением 1600*1200 пикселей. Подробнее оптическая схема макета системы описана в следующей главе.

Для проверки оптического качества ПМС в систему вводилось изображение прямоугольника, рис. 9а, на выходе наблюдался его фурье-спектр, рис. 9б. Из вида спектра следует, что ПМС имеет малые фазовые искажения, распределение интенсивности в спектре хорошо согласуется с теоретически ожидаемым результатом: $I(x_1, y_1) = |u(x_1, y_1)|^2$, где

$$u(x_1, y_1) \sim \frac{\sin(\pi a x_1 / \lambda f)}{x_1} \cdot \frac{\sin(\pi b y_1 / \lambda f)}{y_1}$$

Для количественной оценки уровней выходных сигналов был запрограммирован вывод распределения интенсивности в горизонтальном сечении сигнала (рис. 9в). Вычисление истинных уровней интенсивности света на фотоприемнике проводилось с учетом его калибровки, которая была проведена с помощью нейтральных светофильтров. С учетом калибровки фотоприемника была измерена зависимость пропускания ПМС (по интенсивности) от уровня управляющего сигнала, подаваемого на ПМС с компьютера (уровня серого), согласно спецификации RGB (рис. 10).

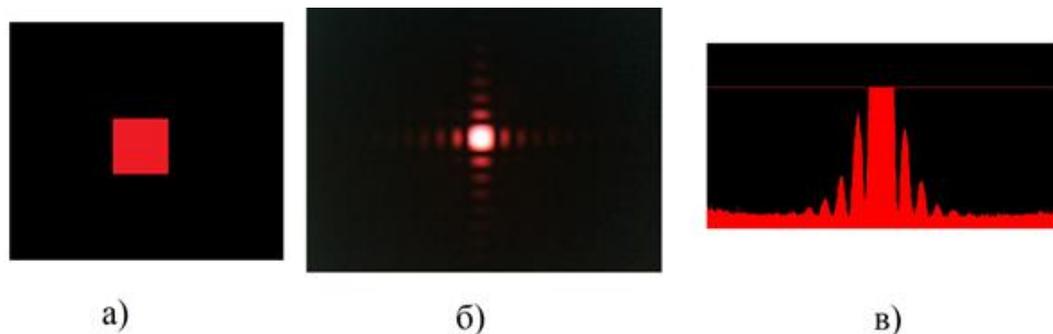


Рис. 9. Входной (а) и выходной(б) сигналы, сечение выходного сигнала (в)

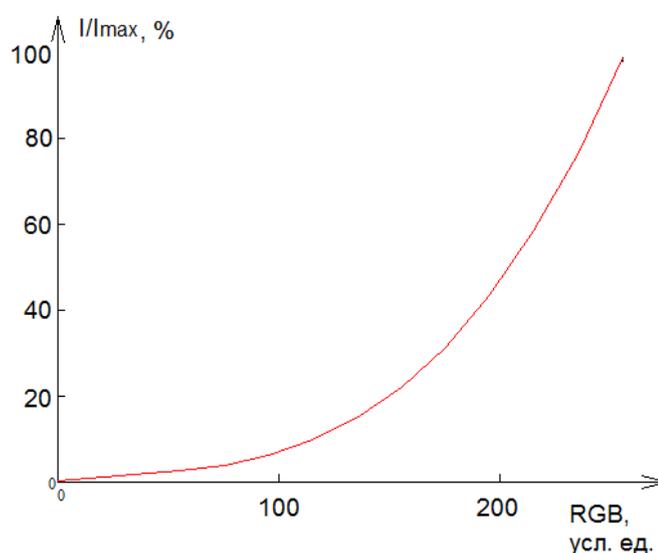


Рис. 10. Зависимость пропускания ПМС (по интенсивности) от величины управляющего сигнала (канал RGB)

В фурье-процессор вводились сигналы, вводимые растровым способом - радиоимпульсы и их суммы (рис. 11). Сигналы задавались в программе по формуле:

$$a=120.5 + amp * \text{Math.Sin next} * \text{Math.PI} / 50 * k1 + \text{delt1} * 0.001 * 50 / 262$$

Эти сигналы использовались для экспериментального исследования спектроанализатора со свернутым спектром. Выходной сигнал фурье-процессора в случае входного сигнала в виде суммы трех длинных радиоимпульсов с разной несущей частотой состоял из нулевого порядка и

трех ярких пятен свернутого спектра, соответствующих частотам входного сигнала (рис. 12).

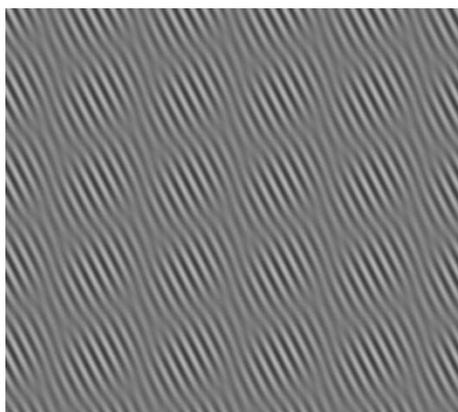


Рис. 11. Сумма трех радиоимпульсов большой протяженности, записанных растровым способом

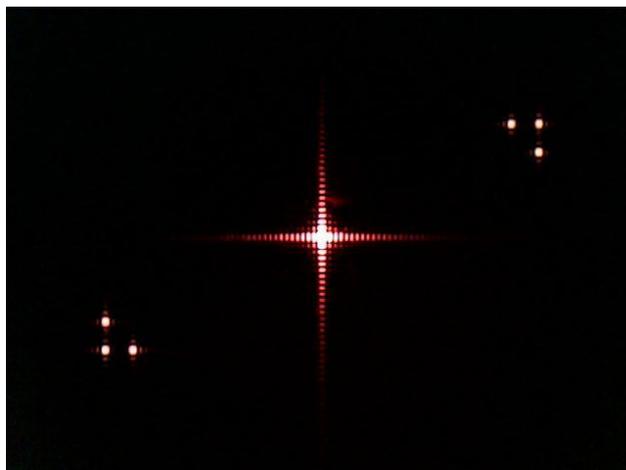


Рис. 12. Свернутый спектр суммы из трех сигналов

На рис. 13 показано распределение интенсивности света на выходе анализатора, когда на вход одновременно подавались 5 монохроматических сигналов с частотами в разных частях полосы пропускания устройства. Вертикальная ось является осью грубого отсчета частоты, горизонтальная – осью точного отсчета. Сверху располагается пятно нулевого порядка (0), соответствующее началу отсчета частоты (нулю). В зоне обзора анализатора (обозначена на рисунке штриховой линией) располагаются все частоты от нуля до 512 пространственных периодов входного сигнала на строку. Отметки от входных сигналов, показанные на рисунке, соответствовали

частотам: (0) 0; (1)20,5; (2)270,25; (3)500; (4)500,25; (5) 500,5 периодов на строку раstra). За пределами зоны обзора могут наблюдаться отметки сигналов от вторичных пространственных спектров, появляющихся в плоскости регистрации вследствие дискретного ввода информации на входе. В данном случае они находятся вне части спектральной плоскости, попадающей на фотоприемник. Общее число разрешимых точек анализатора спектра в зоне обзора составляет 512×768 при разрешающей способности по грубой оси частот - один период на строку раstra и величина в M раз меньшая по точной оси, где $M=768$ - число строк раstra (число строк ЖК матрицы).



Рис. 13. Распределение интенсивности света на выходе анализатора в мелком масштабе, позволяющем видеть всю его зону обзора по частоте

Работа системы в режиме коррелятора совместного преобразования исследовалась при обработке изображений и сигналов.

При корреляционной обработке ЛЧМ сигналов с большой базой в эксперименте применялась многорастровая (четырёхрастровая) запись сигналов на входе коррелятора (рис. 14), позволяющая уменьшить взаимное влияние строк в свернутом спектре сигнала и обеспечивающая отсутствие помех на выходе коррелятора. При таком вводе на выходе коррелятора (рис. 14) также формируются четыре одинаковых сигнала корреляционной функции (в данном случае автокорреляционной функции), свернутых в виде

растра. Для устранения избыточности достаточно фиксировать только один из них. При увеличении задержки между входным и опорным сигналами на входе коррелятора максимум корреляции смещается на величину задержки по растру: сначала по точной оси (горизонтальной), а затем по грубой – переходя на другие строки растра. При этом форма корреляционной функции не изменяется (на рис. 14 видны боковые лепестки, характерные для автокорреляционной функции ЛЧМ сигнала).

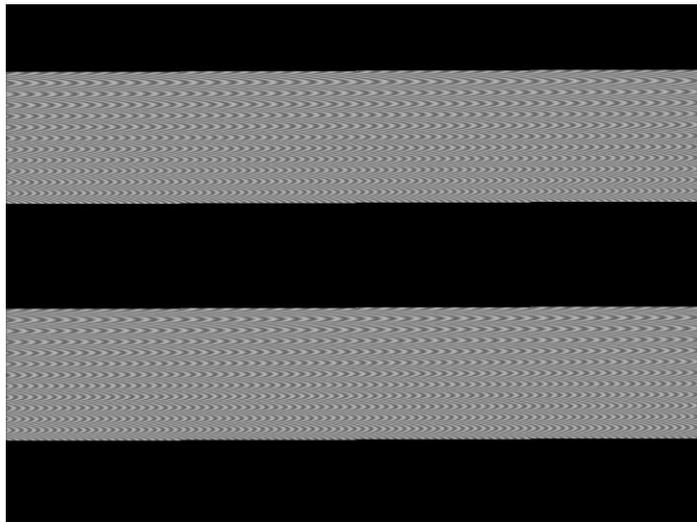


Рис. 14. Входной сигнал, записанный четырехрастровым способом

Протяженность ЛЧМ сигнала в этих экспериментах составляла 195 строк растра (протяженность строки растра в нашем эксперименте равна 1/4 строки ЖК матрицы). Пространственная частота менялась по линейному закону от 10 периодов на строку растра до 22 периодов на строку, т. о. ширина пространственного спектра сигнала составляла 12 периодов на строку, а база (и коэффициент сжатия) - 195×12 . Из рис. 15 видно, что протяженность сжатого сигнала по половинной мощности составляла примерно 1/12 строки растра, что совпадает с теоретическим значением, равным протяженности сигнала на входе, деленной на коэффициент сжатия. Для этой схемы нами также была приведена оценка динамического диапазона по одному и двум входным сигналам. Минимальное значение

динамического диапазона определялось появлением на выходе сигналов помех перекрестной модуляции, и составляло величину 30 дБ.

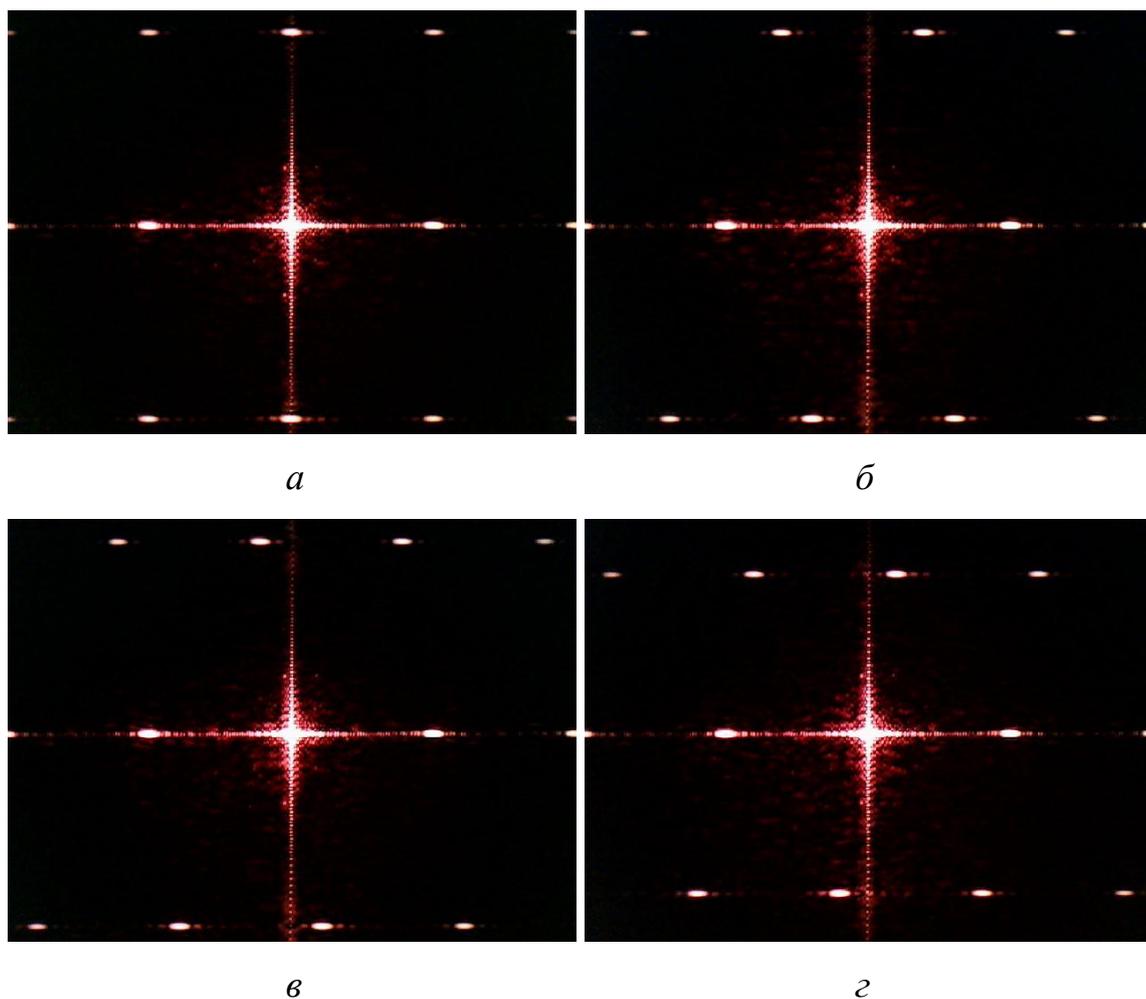


Рис. 15. Выходные сигналы коррелятора, а – без смещения, б и в – со смещением по точной оси, г – со смещением по грубой и точной осям

В работе была проверена возможность формирования бинарных фазовых элементов с помощью ЖК матрицы. В ходе экспериментального исследования фазовой модуляции в ЖК матрице получены углы установки поляризатора и анализатора, соответствующие этому режиму работы матрицы: 90° и 160° . Далее были сформированы зонные пластинки Френеля, соответствующие цилиндрической и сферической линзам. Определены фокусные расстояния линз, которые согласуются с теоретически ожидаемыми значениями.

Произведено сравнение работы КСП в режиме амплитудной и фазовой модуляции. Эксперимент показал, что ФМ не дает значительного преимущества по сравнению с АМ в случае с нелинейной регистрацией совместного спектра.

Для объяснения результатов экспериментов по корреляционной обработке (распознаванию) нескольких сигналов потребовалось оценить влияние нелинейности при регистрации фотоприемником совместного спектра в корреляторе совместного преобразования. Расчет показал, что выходные сигналы КСП, соответствующие первым трем слагаемым в разложении нелинейной функции регистрации по степеням интенсивности совместного спектра, пропорциональны следующим выражениям:

$$\mathcal{F}^{-1}[I^1 \xi, \eta] = \text{АКФ}; \mathcal{F}^{-1}[I^2 \xi, \eta] = \text{АКФ} \otimes \text{АКФ};$$

$$\mathcal{F}^{-1}[I^3 \xi, \eta] = \text{АКФ} \otimes \text{АКФ} \otimes \text{АКФ}, \text{ где АКФ – автокорреляционная функция.}$$

Корреляционная обработка длинных сигналов с растровой записью в двумерном оптическом корреляторе заключалась в том, что использовалась многорастровая запись на входе коррелятора для ввода ЛЧМ сигналов с большой базой, позволяющая уменьшить взаимное влияние строк в свернутом спектре сигнала. Отсутствие заметных помех на выходе коррелятора наблюдалось при трех и более растрах во входном и опорном сигналах. В экспериментах была применена четырехрастровая запись входных сигналов.

В работе предложен метод увеличения быстродействия ЖК матриц с электронным управлением, который основывается на распараллеливании входных сигналов по драйверам столбцов матрицы, которые в последующем передают аналоговый сигнал на суб-пиксели матрицы, рис.17.

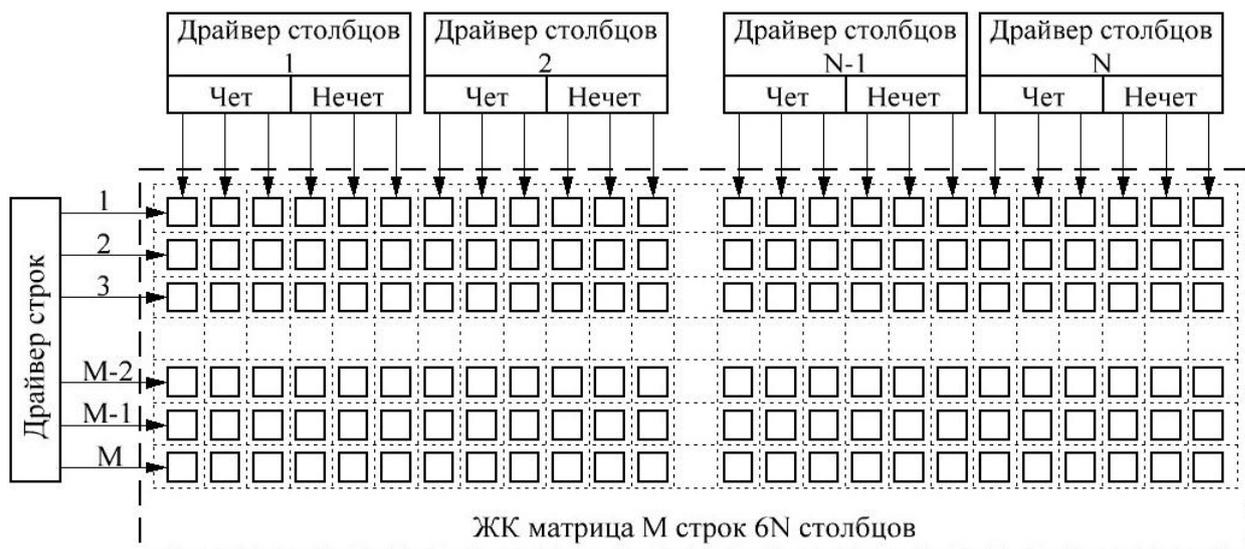


Рис. 17. Принципиальная схема цветной ЖК матрицы с параллельным заполнением столбцов

Схема, изображенная на рис. 17, позволяет существенно увеличить скорость ввода одномерных сигналов на ЖК матрицу. При этом, если подавать на драйверы столбцов аналоговый сигнал, то необходимость конвертации из цифрового кода в аналоговое значение пропадает, следовательно скорость ввода сигналов возрастает еще больше. Данная схема может найти применение в системах обработки сигналов антенных решеток.

Результаты и их обсуждение

Доработана конструкция ЖК матрицы видеопроектора и разработано программное обеспечение системы управления матрицей для ее использования в качестве ПМС в когерентных системах обработки информации. Экспериментально исследована возможность такого использования ЖК матрицы.

Разработан и исследован действующий макет когерентной оптической системы обработки изображений и сигналов с использованием для ввода информации жидкокристаллической матрицы с электронным управлением. На основе разработанного макет были собраны и исследованы несколько

оптикоэлектронных систем: анализатор спектра изображений и сигналов, коррелятор совместного преобразования изображений и сигналов, спектроанализатор и коррелятор длинных сигналов с использованием метода свернутого спектра. Произведено исследование ФМ и АМ модуляции в КСП, полученные результаты показали, что для практически важных случаев использование ФМ нецелесообразно. Предложен новый метод нелинейной обработки совместного спектра фотоприемником, позволяющий улучшить параметры КСП. Предложен метод параллельного ввода сигналов в матрицу для увеличения ее быстродействия.

Проведено теоретическое исследование влияния нелинейной обработки совместного спектра на выходные сигналы КСП. Результаты теоретических расчетов проверены экспериментально.

Заключение

В работе рассмотрены принципы работы всех систем, реализованных на основе разработанного макета, проведена оценка быстродействия исследуемых устройств, предложен новый метод обработки корреляционной обработки сигналов с большой базой в оптических системах.

Проведенные экспериментальные исследования макетов показали высокое качество их выходных сигналов при различных алгоритмах обработки сигналов и изображений. Исходя из полученных результатов, можно ожидать, что на основе применения в оптических устройствах для ввода сигналов и изображений выпускаемых промышленностью ЖК матриц, будут созданы простые малогабаритные быстродействующие устройства с широкой полосой пропускания, с возможностью обработки сигналов с большой базой, с высокой разрешающей способностью и приемлемым динамическим диапазоном.

**Список работ, опубликованных по теме научно-квалификационной
работы (диссертации)
Публикации в изданиях, рецензируемых ВАК**

- 1) M. S. Kuzmin, S. A. Rogov / Spatial light modulator based on liquid-crystal video projector matrix for information processing systems / Optical Memory and Neural Networks, 2013, Volume 22, Number 4, Page 261.
DOI: 10.3103/S1060992X13040103
- 2) M. S. Kuzmin, S. A. Rogov / Hybrid optical-digital system of texture recognition with liquid crystal input device / Optical Memory and Neural Networks, 2017, Volume 26, Number 4, Page 298.
DOI: 10.3103/S1060992X17040075
- 3) M. S. Kuzmin, S. A. Rogov / Signal parallel input liquid-crystal devices for multichannel optical processing systems / Optical Memory and Neural Networks, 2016, Volume 25, Number 2, Page 114.
DOI: 10.3103/S1060992X16020089
- 4) M. S. Kuzmin, S. A. Rogov / A folded-spectrum analyzer with a liquid-crystal input device / Technical Physics Letters, 2014, Volume 40, Number 8, Page 629.
DOI: 10.1134/S1063785014080082
- 5) M. S. Kuzmin, S. A. Rogov / Optical Fourier processor with a liquid-crystal information-input device / Journal of Optical Technology, 2015, Volume 82, Number 3, Page 147.
DOI: 10.1364/JOT.82.000147
- 6) M. S. Kuzmin, S. A. Rogov / Processing of 1D signals with raster input in 2D optical correlators / Technical Physics, 2015, Volume 60, Number 4, Page 631.
DOI: 10.1134/S1063784215040179
- 7) M. S. Kuzmin, S. A. Rogov / Binary Phase SLMs Based on the LC Matrix of Video Projector / Technical Physics, 2018, Volume 63, Number 1, Page 83.
DOI: 10.1134/S1063784218010176

Аспирант _____ Кузьмин Михаил Сергеевич

(подпись)