

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ
ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ՀԱՅԿԱԶՅԱՆ ՄԱՆՈՒԿ ԷԴՈՒԱՐԴԻ

ԱԿՈՒՍՏԱՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ՍԱՐՔԱՎՈՐՈՒՄՆԵՐՈՒՄ
ԱԶԴԱՆՇԱՆԻ ՄՇԱԿՄԱՆ և ՆՈՒՅՆԱԿԱՆԱՑՄԱՆ
ԳՈՐԾՆԹԱՑՆԵՐԻ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՍՈՂԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

Ե.12.03 - ”Հեռահաղորդակցական ցանցեր, սարքավորումներ և
համակարգեր” մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների
թեկնածուի զիտական աստիճանի հայցման համար

ԵՐԵՎԱՆ 2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
АРМЕНИЯ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
АРМЕНИИ

АЙКАЗЯН МАНУК ЭДУАРДОВИЧ

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
ИДЕНТИФИКАЦИИ И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В
АКУСТООПТИЧЕСКИХ ПРИБОРАХ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических
наук по специальности 05.12.03 – “Телекоммуникационные сети,
оборудование и системы”

ЕРЕВАН 2017

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայաստանի Ազգային
Պոլիտեխնիկական Համալսարանում

Գիտական ղեկավար՝ տ.գ.դ. Ս.Խ. Խուդավերդյան
Պաշտոնական ընդհանխոսներ՝ տ.գ.դ. Դ.Գ. Ասատրյան
Ֆ.-մ.գ.դ. Հ.Ս. Կարայան

Առաջատար կազմակերպություն՝ «Երևանի կապի միջոցների
գիտահետազոտական ինստիտուտ» ՓԲԸ

Պաշտապանությունը կայանալու է 2017թ. դեկտեմբերի 1-ին,
ժամը 14.00-ին Հայաստանի Ազգային Պոլիտեխնիկական
Համալսարանում գործող 046 «Ռադիոտեխնիկա և էլեկտրոնիկա»
մասնագիտական խորհրդի նիստում (հասցե՝ 0009, Երևան,
Տերյան փ. 105, 17- րդ մասնաշենք):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀԱՊՀ-ի գրադարանում:
Սեղմագիրը առաքված է 2017թ. նոյեմբերի 1-ին:

046 Մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար՝ տ.գ.թ.



Ս.Ց. Այվազյան

Тема диссертации утверждена в Национальном Политехническом
Университете Армении

Научный руководитель: д.т.н. С.Х. Худавердян
Официальные оппоненты: д.т.н. Д.Г. Асатрян
д.ф.-м.н. Г.С. Караян

Ведущая организация: ЗАО "Ереванский научно-исследовательский
институт средств связи"

Защита состоится 1 декабря 2017г., в 14:00 на заседании
специализированного совета 046 - "Радиотехника и электроника",
действующего при Национальном политехническом университете
Армении (НПУА), по адресу: 0009, Ереван, ул. Теряна 105, корпус 17.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НПУА.
Автореферат разослан 1 ноября 2017 г.

Ученый секретарь Специализированного
Совета 046, к.т.н.



М.Ց. Այվազյան

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В конце 90-ых годов произошла технологическая революция в сфере компьютерных технологий, что дала возможность разработки новых методов обработки оптической информации. Развитие информационных технологий (ИТ) с увеличением объемов информации привело к росту внедрения этих методов в различные области науки и техники. Рост информационной емкости является одной из причин широкого использования оптических сигналов, что выдвигает новые требования к разработке приборов научного профиля. Из разнообразных методов оптической обработки информации основное место занимают спектроскопические методы, использующие различные спектральные приборы для исследования спектров излучения, поглощения и отражения. Для изучения этих спектров необходимо получение информации, как о физических процессах, так и о свойствах среды, через которую распространяется излучение. Так, в результате исследования спектров поглощения веществ можно определить их физико-химический состав, температуру, структуру, давление и другие факторы. Спектральный анализ отличается достоверной точностью и высокой оперативностью. На основе результатов исследования изменения спектра, имеющего место при переходе из одного агрегатного состояния вещества в другое, с учетом изменения температуры, давления можно судить о величине и характере межмолекулярных взаимодействий. На текущий момент в спектроскопии используются различные физические принципы исследования сложного излучения с целью изучения спектра информативного излучения. Несмотря на то, что современная спектроскопия обеспечивает высокую точность регистрации сигнала, все более актуальной становится создание методики, с помощью которой становится возможным дистанционная обработка оптического сигнала. С точки зрения реализации, большие возможности открывает применение аппарата математического анализа удовлетворяющим вышеуказанным условиям.

Предмет исследования. Спектральные приборы на основе акустооптики (АО), превосходят традиционные устройства и обеспечивают преимущество, такие как высокое быстродействие, гибкость при перестройке, возможность управления характеристиками, малая чувствительность системы к вибрациям, простота настройки, малый вес и габариты (в связи с отсутствием

движущихся частей в их конструкции), электронный механизм управления АО элемента. Следует отметить, что не все возможности акустооптических перестраиваемых фильтров (АОПФ) на данный момент использованы, и приборы на их основе обладают возможностями усовершенствования. Динамический диапазон спектрометра автоматически определяет способность системы одновременно обрабатывать оптические излучения разной мощности. Он всегда зависит от уровня боковых лепестков спектрального отклика системы, при этом этот уровень ограничен. Другим параметром АОПФ является его угловая апертура. Если она не очень велика (доли градуса), то необходим дополнительный оптический блок угловой селекции для стабилизации углового положения светового потока, падающего на АО-ячейки. При большей угловой апертуре АОПФ полнее использует падающий световой поток, и в ряде случаев можно отказаться от блока угловой селекции. Применение АОПФ в телекоммуникации, в частности волоконооптических линиях связи, способствует широкого выбора спектрального диапазона оптического излучения в пределах нескольких миллисекунд. Большое преимущество АОПФ является способность использования поляризованного света для изучения дифракции в реальном времени без применения сложной аппаратуры.

Цель и задачи работы. Целью работы является разработка более совершенного акустического метода раздельной визуализации амплитуды и фазы светового поля и исследование аспектов АО пространственной фильтрации в свете практических применений для оптической обработки информации в телекоммуникационных системах. Исходя из намеченной цели, в работе были поставлены и решены следующие задачи:

- моделирование процессов визуализации дифракционных изображений;
- исследование различных сигналов АО взаимодействия для последующей обработки оптических сигналов и моделирования данного процесса;
- теоретическое исследование пространственной фильтрации АО сигнала, а также разработка компьютерной модели, учитывающей все особенности распространения сигнала в оптоволоконных линиях связи;

- разработка более совершенного акустического метода раздельной визуализации амплитуды и фазы светового поля, выявляющего особенности и достоинства явления дифракции света;
- расчёты с использованием программного обеспечения (ПО) по созданию экспериментального устройства для применения в системах телекоммуникации. Проведение экспериментальных исследований по проверке основных положений теории.

Методы исследования. В работе использованы основные положения акустооптики и математической статистики, на основе которых разработаны программные пакеты для предварительной обработки и проверки параметров дифракционных процессов, составления эталонных дифракционных изображений и выполнения автоматизированной диагностики сигнала “дифракционного изображения”, основанные на использовании современных методов информатики (*MATLAB, C++*). Комплексное применение указанных методов и разработанных программных средств обеспечивает достоверность математического моделирования и получения новых эталонных данных для дальнейшего применения в научной деятельности.

Научная новизна. Получены следующие основные результаты, отличающиеся новизной:

1. Разработан алгоритм для формирования групп вариационных рядов с указанными параметрами (геометрические размеры квазиколлинеарной среды, его диэлектрическая проницаемость, показатель преломления, частота возбуждающего сигнала).
2. Выявлено, что относительное распределение интенсивности пикселей восстановленного изображения полностью соответствует функции Бесселя и её модификациям с точностью до 99,2%.
3. По результатам проверки статистических гипотез экспериментальных дифракционных изображений (123 дифракционных изображения) определены параметры, влияющие на полученную математическую модель.
4. Получены дифракционные изображения, восстановленные при помощи ПО.
5. Созданы базы данных эталонных изображений различных дифракционных процессов для расчета амплитудно-временных параметров дифракции.

6. Разработаны модель информационно-измерительной системы для оптоволоконных линий связи и ее применение в системах телекоммуникации.

Практическая ценность.

1. Создана методика для предварительной обработки “акустооптического сигнала”, включающая ввод данных, выбор наилучшей кривой, сглаживание, фильтрацию сигнала, приведение к изопотенциальной линии и создание полноценной базы данных.
2. Для восстановления дифракционного изображения используется пакет прикладных программ (ППП) для предварительной обработки сигнала дистанционного исследуемого дифракционного процесса.
3. Выполненная работа позволяет расширить возможности обработки оптических изображений с применением методов интерполяции и быстрого преобразования Фурье.
4. Разработанная методика обладает повышенной достоверностью и точностью оценки без повторения научных опытов, тем самым обеспечивая проведение научных исследований без привлечения дорогой научно-исследовательской аппаратуры. Благодаря этому экспериментаторы смогут обходиться без специальных знаний в отрасли ИТ. Данная методика прошла успешную апробацию в «Институте Прикладных Проблем Физики» НАН РА и подтверждена актом приемки.

Достоверность научных положений подтверждена компьютерным экспериментом и результатами математического моделирования.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Улучшена методика преобразования экспериментальных дифракционных изображений в цифровой сигнал и создание ППП для реализации алгоритма.
2. Предложен математический аппарат для определения параметров АО взаимодействия с целью обработки дифракционных изображений.
3. Обоснование использования вейвлет-преобразования для решения задач со сложными сигналами и повышение точности восстановленного сигнала.

4. Сравнение полученных параметров АО–взаимодействия с существующими экспериментальными и теоретическими данными с точки зрения применения в системах телекоммуникации.
5. Методика сравнения измеряемых и эталонных дифракционных изображений для последующего применения в системах телекоммуникации.
6. Вычислительная программа для визуализации “акустооптического сигнала” с различными параметрами, результаты исследования кристаллической решетки и ее структуры, распределения атомных слоев кристалла, концентрации примесей, фазовых сдвигов и диэлектрических свойств.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на научных семинарах кафедры «Средств связи» Национального политехнического университета Армении за 2013-2016 гг.

Публикации. По теме диссертации опубликовано двенадцать научных работ, список которых приводится в конце автореферата.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, списка литературы из 140 наименований и шести приложений. Основной текст работы изложен на 121 страницах, включает 36 рисунков и 4 таблицы. Диссертация написана на русском языке.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи работы, представлены научная новизна, практическое значение работы и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе на основе обзора литературных источников проведено теоретическое исследование методов АО взаимодействия в квазиколлинеарных средах. Представлен целый ряд приборов, которые выпускаются электронной промышленностью для решения научных и прикладных задач в сферах телекоммуникации, в информационных технологиях, транспорта, авиации и космонавтики, газодобычи, в автоматизированных предприятиях и т.д.

Особый интерес представляет акустооптическое взаимодействие с использованием лазера. Теоретически обоснована и решена задача рассеяние луча при наличии ультразвука, показано дифракционное рассеивание. Для лазеров с распределенной системой связи, спектр собственных колебаний лазера и порог их генерации

принимают следующий вид: $\omega'_n = \omega'_0 + \frac{\Omega}{2} \pm \frac{\Delta}{2} \cdot \left[1 + \frac{2}{\Delta^2} \left(\frac{2\pi m}{qL_f} \right)^2 \right] \omega'_0$,

$$\frac{\varepsilon_0''}{2\varepsilon_0'} = -\frac{1}{\varepsilon_0'} \left(\frac{k_y c}{\omega'_0} \right)^2 \cdot \frac{1}{k_y b} \ln \left(\frac{1}{|r|} \right) - \frac{32}{(qL_f)^3} \cdot \left(\frac{\pi n}{\Delta} \right)^2$$

где $n = \pm 1, \pm 2, \dots$; $\Delta = |\Delta \varepsilon / 2 \cdot \varepsilon_0'|$; k_y – у компонента волнового вектора излучения в кристалле;

$$f = \left(\frac{2\omega_0}{qc} \right)^2 \cdot \varepsilon_0 \omega_0, \quad \varepsilon_0' = \text{Re } \varepsilon_0, \quad \varepsilon_0'' = \text{Im } \varepsilon_0, \quad \omega_n' = \text{Re } \omega_n$$

ε_0' удовлетворяет следующему уравнению:

$$\varepsilon_0' \frac{(\omega_0')^2}{c^2} - \frac{q^2}{4} = k_y^2 = \left(\frac{\pi m - \varphi}{b} \right)^2;$$

m – целое число, определяющее волноводную моду, генерируемую в кристалле; $r = |r|e^{i\varphi}$ – коэффициент отражения излучения от граней.

Отсюда следует, что заданная частота m генерируемой моды зависит от частоты звука. При этом с ростом n порог генерации мод резко возрастает. Следовательно, можно конструировать перестраиваемые лазеры с узкой частотой излучения. Как видно из расчетов, при интенсивности звука $\sim 0,1 \div 1$ Вт·см⁻² достижимо условие $\eta \approx 1$, при котором порог генерации сравнительно невысок. Данные АО взаимодействия в лазерных кристаллах позволяют создать другие АО устройства управления излучением.

Во второй главе рассматриваются акустооптический модулятор (АОМ) и его применение. АОМ — это устройство для изменения интенсивности пропускаемого света, образуемого в конденсированной среде (вследствие его дифракции на решётке). Это изменение происходит в результате пространственной модуляции показателя преломления акустической волны. Быстродействие АОМ ограничивается временем прохождения звуковой волны через сечение светового пучка (где d — поперечный размер лазерного луча, v — скорость звука в материале ячейки) и составляет порядка 2...10 мкс для коллимированного лазерного луча диаметром несколько миллиметров. Чем меньше пятно фокусировки, тем лучше быстродействие АОМ. Поэтому обычно модулятор размещается в

фокусе линзы, при этом выходные лучи коллимируются второй линзой. Такой модулятор требует применения длиннофокусной линзы. При правильной его компоновке и юстировке можно достичь быстродействия примерно в 20 нс. АОМ может работать в режиме модулятора и дефлектора. АОМ состоит из оптически полированной конденсированной среды (в частности, из стекла). С помощью пайки под давлением АОМ соединяется с пьезопреобразователем, изготовленным из ниобата лития. Толщина пластины ниобата лития выбирается исходя из требуемой частоты модуляции (вплоть до 1 ГГц). Противоположная грань стеклянной пластины спиливается под углом так, чтобы отраженная звуковая волна уходила в сторону и не возникала стоячая волна. Более того, на этой грани обычно размещается брусок из звукопоглощающего материала. Брусок размещается в металлическом корпусе с отверстиями для ввода-вывода света и высокочастотным разъёмом для подачи модулирующего сигнала. Возможно также исполнение прибора с волоконным входом и выходом, что позволяет его легко интегрировать в системы, работающие с оптоволоконными линиями связи.

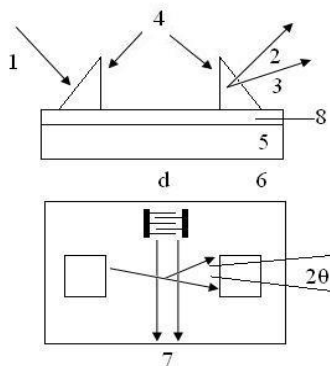


Рис.1. Схема экспериментального АО модулятора на основе брэгговской дифракции света в планарном световоде на $LiNbO_3$.

1 - входной оптический луч; 2,3 - дифрагированный и недифрагированный луч; 4 - призмы из рутила; 5 - кристалл $LiNbO_3$; 6 - встречно-штыревой преобразователь ПАВ; 7 - пучок ПАВ; 8 – волновод

Частота модуляции АОМ определяется свойствами акустической среды и может достигать 350 МГц (эффективность АОМ на такой частоте невелика — порядка 10, ..., 20 %) (рис.1).

Следующим шагом для использования АОМ в прикладных исследованиях должна стать новая методика для обработки дифракционных изображений. Предложенная методика обработки изображения основана на математическом аппарате, предоставляя изображение как некоторую плотность вероятности, определяемую неотрицательными значениями. По существу, введение этого ограничения осуществляется путем выбора адекватной модели, описывающей процесс формирования изображения. По физическому смыслу плотность вероятности не может быть отрицательной.

Исследования по восстановлению изображений проводятся уже давно. По этой тематике имеется множество публикаций, но до сих пор остались еще частично нерешенные задачи.

В частности, при решении задачи компенсации линейных пространственно-инвариантных искажений двумерного вида часто предполагается, что наблюдению доступны все изображения. Это приводит к возникновению краевых эффектов, резко ухудшающих качество восстановленного изображения. Для компенсации краевых эффектов предложены различные эвристические методы, однако их применение не приводит к полному подавлению шума или улучшению четкости восстановленного изображения. Наименее исследованной в настоящее время остается задача восстановления изображений, подвергнутых не только линейным, но и нелинейным искажениям. Решение задачи нелинейного восстановления путем поиска максимума условной вероятности методом наискорейшего градиентного спуска практически нереализуемо из-за большой размерности задачи (число переменных равно числу точек восстанавливаемого изображения). Выбор конкретной модели для каждой точки изображения осуществляется на основании соответствующего значения управляющего поля. Недостаток данного подхода заключается в необходимости проведения предварительного разбиения изображения на участки, которое затем используется для идентификации регрессионных моделей. Одним из наиболее перспективных подходов к построению алгоритмов восстановления изображений является способ, основанный на описании оцениваемых изображений с помощью нормального распределения. Для построения

математического аппарата осуществляется регуляризация решения уравнения по типу свертки. Поэтому при решении сложного дифференциального уравнения, сможем использовать метод А.Н. Тихонова. Во всех случаях восстановленное 3-D изображение вполне интерпретируемо, хотя имеются некоторые искажения по сравнению с исходным. Природа изображений связана как с дифракционными ограничениями, так и с недостаточным квантованием исходных изображений (пикселей в изображении) и их спектров. Это указывает на адекватность вычисленного спектра. В процессе работы были получены голограммы как результат перемножения спектров U на комплексную функцию наклонного опорного пучка и последующего восстановления тем же пучком. Эксперименты вычислительного характера на представленной модели показывают возможность применения в расчетах дифракции на 3-D объектах классического выражения интеграла Френеля–Кирхгофа, связывающего амплитуды световых полей, расположенных в двух плоскостях на расстоянии l друг от друга. Пусть уравнение кривой задается зависимостью вида $y=f(x)$, и вращение осуществляется вокруг оси Z. Образующая фигура может описываться зависимостями, заданными на определенных интервалах $\bar{x}_i = [x_i; x_{i+1}]$. На границах интервалов должны выполняться условия непрерывности, а также не должно наблюдаться положительных приращений производной. В определенных интервалах \bar{x}_i должны выполняться следующие условия:

$$f_1(x_{i+1}) = f_2(x_{i+1}), \quad \partial f_1(x_i)/\partial x = \partial f_2(x_i)/\partial x.$$

Отмеченные условия, а также невозрастающий характер производной функции определяют выпуклость тела вращения. Ненулевое значение функции, образуемой на границе интервала, показывает, что поверхность замыкается диском соответствующего радиуса. Ввод данных, характеризующих вид функции, производится в *MATLAB* с использованием функций *sums* (символьная переменная) и *sum* (символьная функция). Программа реализована в виде отдельных блоков, обеспечивающих более гибкий подход к решению. Считая известным критерий сегментации d_{max} , определяющий максимальный размер элемента поверхности, можно перейти к описанию алгоритма генерации треугольной сетки. Предполагается, что образующие сегменты описываются n функциями. В таком случае вектор, содержащий функции в символьном виде, и два вектора,

определяющие границы интервалов, имеют n элементов. Предлагаемый алгоритм сегментации накладывает ограничения на высоту треугольника, а также на длину его основания. Оба угла при основании не превышают 90° . Следовательно, в целях удовлетворения критерия сегментации высота треугольника и длина его основания не должны превышать значения $\Delta = d_{\max} / \sqrt{2}$. Длина образованной фигуры не должна превышать упомянутого значения, при этом длина образующей поверхности тела вращения, описываемой функцией $f(x)$ на интервале $[x_i; x_{i+1}]$, определяется как $L = \int_{x_i}^{x_{i+1}} \sqrt{1 + \left(\frac{df}{dx}\right)^2} dx$. Зная длину образующей L и критерий Δ , можно рассчитать количество кольцевых сегментов, заключенных между x_i и x_{i+1} : $N_s = \text{ceil}\left(\frac{L}{\Delta}\right)$. Кольцевой сегмент разбивается на треугольные элементы, количество которых определяется формулой $N_i = \text{ceil}\left(\frac{2\pi r}{\Delta}\right)$.

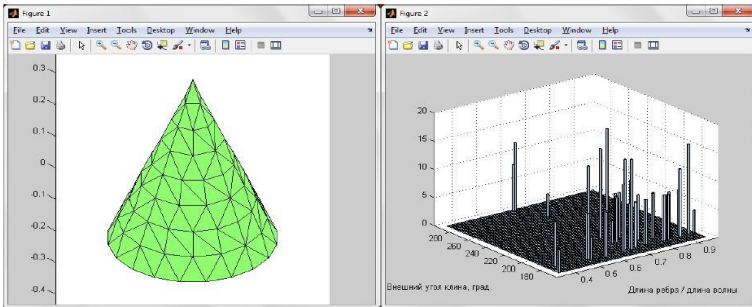


Рис. 2. Результат математического моделирования конуса и его двумерная гистограмма сегментации

Вышеперечисленные уравнения можно применить для сферы, эллипсоида вращения и других математических фигур. Для наглядности рассмотрен конус (рис.2), так как он является наиболее правильной кристаллографической объемной фигурой. Математическая модель относительной интенсивности дифракции для произвольного угла $\delta < \pi$ при вершине конуса в области физических углов наблюдения и падения плоской волны представлена следующими ограничениями: $0 < \varphi, \gamma < 2\pi - \delta$. Эта модель

положена в основу численного моделирования дифракции плоских TE волн. Описание численных методов, применяемых для решения задач дифракции для конуса, представлено в [1,2]. В данной главе рассчитывается дифракционный интеграл функции Бесселя методом использования быстрых прямых и обратных преобразований Фурье для конуса (рис.3). Прямой расчет с использованием формул требует не менее 256 членов, для экономии машинного времени используется половина ряда. Значения параметров $p = 3$, $\theta = \pi/3$ функции Бесселя взяты из библиотеки *MATLAB*. Сходимость ряда N_s слабо зависит от числа p в диапазоне $1 < p < 3$ и углов θ , и поэтому в расчетах интенсивности применяем две отличающиеся численные схемы: интерполяционную по углу φ с центральной разностью для вычисления производных по радиусу и регрессионную – крест.

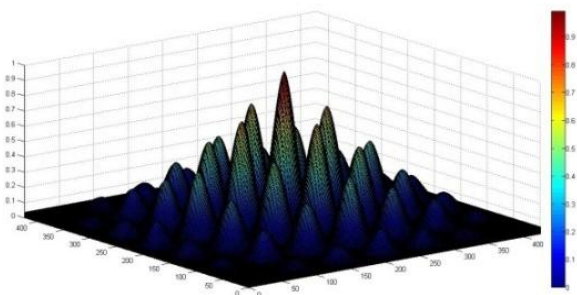


Рис.3. Условное распределение интенсивности при падении плоской волны на верхнюю грань конуса под углом 60°

Обе производные вычисляются как центральные разности. Указанные схемы позволили существенно повысить эффективность расчета интенсивности. Модельные расчеты проводились в среде *MATLAB* для конуса. Полученные результаты имеют обширную интерпретацию и могут быть использованы не только в задачах, но и при моделировании ряда голографических процессов для оптоволоконных систем связи, в частности, в области развития телекоммуникационных систем связи. Использование ПО *MATLAB* внесло ограничения на быстродействие и пространственную дискретизацию изображений. Однако полученные результаты носят

модельный характер и могут быть уточнены в рамках специальных программ [11,12].

В третьей главе описывается цифровая обработка сигналов, связанная с задачей приближенного восстановления функций $F(t)$, заданных в табличной форме. Эффективность алгоритмов цифровой обработки сигнала зависит от правильного выбора способа интерполяции и статистической обработки [10]. Широкое распространение получили методы аппроксимации многочленами (метод неопределенных коэффициентов, метод Лагранжа, методы Ньютона и др.). Однако возможности их применения ограничены. Это связано с тем, что с увеличением числа узлов интерполяции в нерегулярных сетках при решении систем линейных уравнений для нахождения коэффициентов многочленов, во-первых, возникают вычислительные сложности, что приводит к быстрому накоплению погрешностей округления, и во-вторых, для некоторых классов функций последовательность интерполяционных многочленов не сходится. Помимо того, что функции $F(t)$, используемые в рамках дискретное вейвлет – преобразования (ДВП), не могут быть представлены в аналитической форме, многие из них являются нерегулярными (например, широко используемые вейвлеты Добеши малого порядка, имеющие узкую область задания). На практике при выборе вейвлета учитывают такие его свойства, как регулярность, число нулевых моментов, число вейвлет-коэффициентов, превышающих некоторое пороговое значение [5,6]. Большое количество нулевых точек $F(t)$ позволяет осуществлять более эффективное сжатие данных, так как вейвлет-коэффициенты на малых масштабах стремятся к нулю в тех точках, где функция является гладкой, и в этом случае их можно отбросить без существенной потери информации. С другой стороны, за это приходится расплачиваться увеличением области задания вейвлета, и что как следствие, приводит к снижению быстродействия вычислений. Поэтому выбор базисной функции и вида преобразования должен осуществляться исходя из специфики решаемой задачи. В частности, ДВП преимущественно используется при решении задач кодирования сигналов, компьютерной графики, распознавания образов. ДВП в большей степени применяется в научных исследованиях для анализа структуры сложных сигналов и допускает возможность реализации быстрого (пирамидального) алгоритма преобразования, идея которого

была заимствована из схем субполосной фильтрации [7-9].

Возможность реализации быстрой процедуры преобразования важна для многих приложений, например, для кодирования и передачи информации, сжатия данных. В качестве примера можно отметить, что ДВП является основой формата представления графической информации *JPEG*, формата видео *MPEG4*, активно применяется в компьютерной графике для редактирования трехмерных изображений и т.д. Существование алгоритмов быстрого преобразования важно также и в задачах обработки экспериментальных данных (речь идет о больших объемах информации и телекоммуникации).

В четвертой главе представлена реализация исследовательской работы с использованием ППП в среде *MATLAB*. Данный ППП работает на большинстве современных операционных систем, включая *Linux* и *Microsoft Windows*. Обработка экспериментальных сигналов реализована следующим образом.

1. Развита методика фильтрации цифровых сигналов на основе вейвлет-преобразования. Произведен выбор вейвлет-коэффициентов для восстановления сигнала с заданной точностью. Предложенные алгоритмы фильтрации применены для удаления помех. Методика обобщена на случай двумерных сигналов и использована для обработки спектров АО изображений.
2. На основе дискретного вейвлет-преобразования построен алгоритм автоматического анализа цифровых сигналов. Метод позволяет определять характерные параметры цифровой кривой, такие как положение и амплитуды пиков полезного сигнала, начало фронта нарастания и конец спада сигнала даже в случае присутствия сильных помех различного вида.
3. Разработан метод обработки сигналов со стоп - детектором, основанный на использовании вейвлет-преобразования и вейвлета Морле. Метод позволяет отследить изменение основной частоты сигнала в зависимости от времени и восстановить последовательность экстремумов затухающей структуры пучка даже в случае сильных шумов, сравнимых по мощности с полезным сигналом. Предлагаемый метод используется в настоящее время при обработке данных АО процессов.

4. Разработана оригинальная методика обработки сигналов гауссовой формы на базе вейвлет-преобразования с вейвлетом "мексиканская шляпа" [3], которая основана на минимизации нормы разности тестовой и анализируемой функций в вейвлет-домене. Построен новый алгоритм поиска гауссовых источников. Предложенная схема обработки сигналов применяется при автоматическом анализе спектрометрических данных в экспериментах по АО процессам в кристаллах. По аналогии с интервальным преобразованием Фурье вводится вейвлет-преобразование, поясняются принципиальные отличия этих двух подходов применительно к задачам частотно-временной локализации сигналов.

Построение наиболее интересного с прикладной точки зрения дискретного вейвлет-преобразования существенно отличается от дискретизации преобразования Фурье, требуя введения некоторых дополнительных понятий: фрейм, скейлинг-функция, кратномасштабный анализ. Рассмотрены приложения вейвлет-преобразования для сжатия информации, приведены алгоритмы быстрого вейвлет-преобразования, а также одна из возможных схем для распространения вейвлет-разложения на случай функций двух переменных, необходимая для преобразования изображений. У небольших волн есть две характеристики - "масштаб-время". Под характеристикой масштаба подразумевается понятие местной регулярности. Под характеристикой времени подразумеваются понятия целостности разложения, удаления шумов и сжатия процессов. Эта характеристика дает возможность обнаружить края разрыва на полученных графиках АО сигнала и при активных переходных процессах исследовать явления сокращенного времени. Форма небольшой волны ограничена последовательностью, у которой есть среднее число с нулевым значением. По продолжительности эти синусоиды не ограничены, они являются гладкими и предсказуемыми, а небольшие волны имеют тенденцию быть нерегулярными и асимметричными.

При анализе волн необходимо наличие банка эталонных небольших волн. Из исследования спектрограмм выявлено, что волны можно сгруппировать, и пяти групп достаточно для получения достоверной информации о проходящих процессах, так как амплитуды остальных волн настолько малы, что ими можно

пренебречь. В эталонах небольших волн используются амплитуды, которые соответствуют зубцам сигнала с определенным масштабным коэффициентом. Проводя детальный анализ на ветках сигнала, можно найти амплитудное отклонение наличия небольших волн.

Предлагаемый алгоритм учитывает особенности амплитудно-частотных характеристик АО сигналов и состоит из двух этапов. Предварительным этапом обработки данных является наличие отсканированных фотографических рисунков (негативов) в черно-белом растровом изображении в формате *jpg*. При помощи программы *Image Tools3.0* полученные данные записываются в отдельный "xxx.txt" файл. Из "xxx.txt" файла выбираются 1 и 3 колонки данных для последующего копирования в отдельный файл. Обобщенный алгоритм обработки сигнала заключается в следующем.

В массиве **A** помещаются относительные координаты x , а в массиве **B** - относительные координаты y .

В массивах **C** и **D** вычисляются x^2 и $x*y$ для составления линии тренда. Используется метод наименьших квадратов, позволяющий получить регрессионные связи $y = f(x; a_0, a_1, \dots, a_n)$ с помощью нормальных уравнений для прямолинейной связи $y_x = a_0 + a_1 x$. Правильный выбор регрессионной функции имеет ощутимое значение для выполнения дальнейших расчетов и количественной оценки исследуемых АО процессов. В задачах, где имеется априорная информация в виде взаимосвязи между параметрами процесса (например, связь между интенсивностью и координатной осью), применяются конкретные формы регрессионной связи. В остальных случаях выбор уравнения регрессии выполняется графически, учитывая характер распределения экспериментальных данных в двумерной системе (y, x) .

В массиве **E** вычисляются значения $F(x) = A_0 + A_1 * x$, а в массиве **F** - данные изолинии, чтобы значения функции F_0 и F_n совпали со значениями в массиве **B**. Изолиния строится по формуле $I = Y_0 - A_0 * I_f$ ($I=0, \dots, n$).

В массиве **F** - выбирается минимальное значение, в массиве **H** вычисляются параметры базовой линии, соответствующие координатам абсцисс (БЛКА).

В массиве **I** выбирается максимальное значение БЛКА.

В массивах **J** и **K** формируется буфер для быстрого преобразования Фурье.

В массиве **L** задаются значения $1, \dots, n$ для проведения спектрального анализа (разложения в ряд Фурье).

В массиве **M** производится вычисление прямого преобразования Фурье для определения амплитуд $A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$, используя каталог анализа данных, где

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T y(t) \cos(n\omega_1 t) dt \quad b_n = \frac{2}{T} \int_0^T y(t) \sin(n\omega_1 t) dt \quad \varphi_n = \arctg\left(\frac{b_n}{a_n}\right).$$

В массиве **N** записывается абсолютное значение комплексного числа, которое определяется функцией МНИМ.АБС() из каталогов функций инженерных расчетов.

Из абсолютных значений выбираются последовательно максимумы наиболее встречающихся амплитуд, запоминая соответствующие индексы в массивах **O, P, Q**. Ранжируя по убыванию, отмечается только первые двенадцать коэффициентов. Далее обнуляются соответствующие коэффициенты номера индексов остальных амплитуд и запоминаются.

В массиве **R** записываются отфильтрованные значения первых двенадцати коэффициентов.

В массиве **S** производится обратное преобразование Фурье значений из массива **R** и экстраполируются значения 256 точек.

В массиве **T** записываются реальные значения, полученные из массива **S**. Полученный результат представляем в графическом виде.

В массивах **W** и **X** параллельно записываются коэффициенты вещественной и мнимой частей комплексного числа, что дает возможность представить функцию в аналитическом виде:

$$y = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^{255} (a_i \cos i\omega_1 t + b_i \sin i\omega_1 t).$$

Результаты методики представлены на рис. 4 - 6.

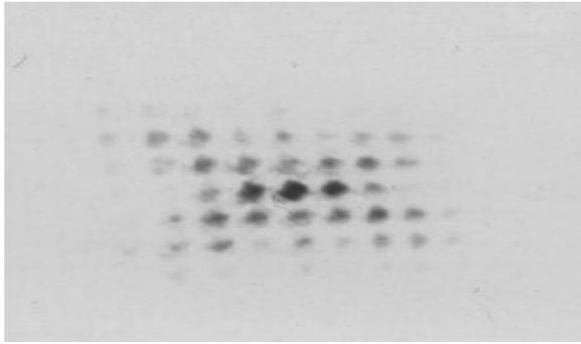


Рис.4. Фотографическое изображение в формате jpg

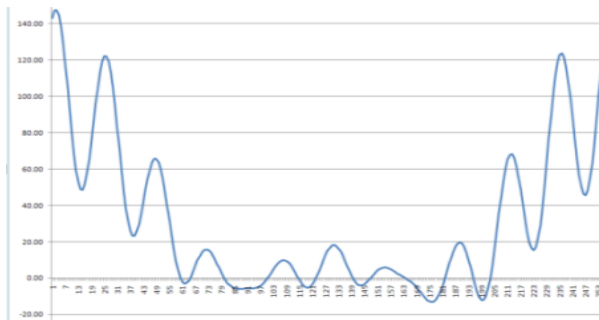


Рис.5. Восстановленный сигнал дифракционного изображения

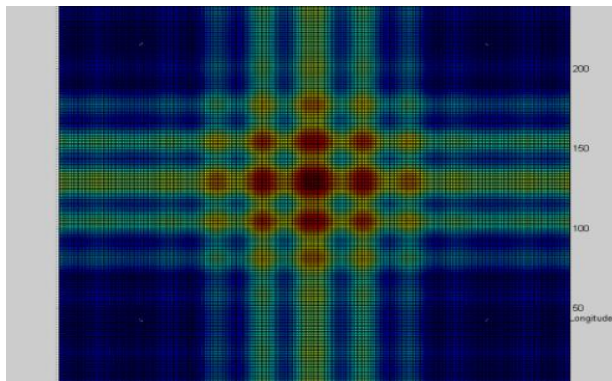


Рис.6. Восстановленное изображение при помощи ПО Matlab

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Разработан расчетно – графический метод предварительной обработки дифракционных изображений. Создана схема для группировки параметров обследуемых сигналов с учетом действующих факторов (амплитуда, фаза, периодичность, регрессия) с целью обнаружения дефектов в кристаллической решетке [1-4].
2. Проведено исследование готовых дифракционных изображений, перенесенных на фотоноситель, с использованием пакета прикладных программ для обработки цветовой коррекции в черно-белом растровом изображении отсканированных фотоносителей и для преобразования в “грязный сигнал”[5-7].
3. Методами интерполяции и быстрого преобразования Фурье получена математическая модель процесса регистрации дифракционного изображения. Проведена обработка 123 отсканированных дифракционных изображений[8,10].
4. Разработана методика для корреляционной связи между параметром сигнала дифракционного изображения и существующими теоретическими аналогами. Выбраны наиболее характерные формы для получения эталонного сигнала. Предложена программа для автоматического получения эталонного сигнала и последующего преобразования в базу сигналов[11,12].
5. Разработана система “исследователь - вычислительный комплекс” для визуального представления процессов АО взаимодействия и создана прикладная программа (на основе *Matlab R10*, 4.5Mb) для использования АО взаимодействия [9].

Основные результаты опубликованы в работах:

1. Ստակյան Մ.Գ., Միրթանի Շ.Ջ., Հայկազյան Մ.Է. Աշխատանքային մակերևույթների ամրացման գործընթացի մաթեմատիկական մոդելավորումը// ՀՀ ԳԱԱ և ՀՊՃՀ Տեղեկագիր. – 2013. – Հ.66, №1. – էջ. 20 – 27:
2. Айказян М.Э. Программное обеспечение результатов акустооптических процессов в кристалле SiO₂ // Вестник ИАА. – 2013. – Т.10, №4. – С. 755–759.

3. **Айказян М.Э., Стакян Ю.М.** Методы вейвлет-анализа для обработки экспериментальных данных в задачах акустооптики // Вестник ИАА. – 2014. – Т.11, №3. – С. 604–610.
4. **Айказян М.Э.** Об одном подходе использования вейвлет-анализа для обработки экспериментальных данных в задачах акустооптики // Известия НАН РА и ГИУА Серия ТН. – 2015. – Т.68, №2. – С.178–188.
5. **Айказян М.Э., Стакян Ю.М.** Совмещение методов математической статистики и вейвлет-преобразований для обработки экспериментальных данных // Известия НУАСА. – 2016. – Т.4(53). – С.26–30.
6. **Малхасян Р.Т., Григорян С.Л., Пашинян Э.М., Айказян М.Э.** Автоматизированный комплекс оборудования по синтезу аморфных наноразмерных материалов// Физикохимия ультрадисперсных (нано)систем. – М. : Изд-во МИФИ, 2002. – С. 187 – 190 . – ISBN 5-7262-0438-7.
7. **Стакян М.Г., Согомоян В.К., Айказян М.Э.** Комплексный метод технической диагностики разрушения валов и соединений “Вал-Ступица”// Логистика, транспорт, природообустройство – 2015. – Ер.: Арменпак – 2015. – С.70 – 82.
8. **Стакян М.Г., Систани Ш.Дж., Айказян М.Э.** Математическое моделирование процесса упрочнения рабочих поверхностей// Известия НАН РА и ГИУА. Серия ТН. – 2013. – Т.66, №1. – С.20 – 27.
9. **Стакян М.Г., Систани Ш.Дж., Айказян М.Э.** Моделирование физико-механического состояния поверхностных слоев деталей при применении упрочняющих технологий// Вестн. ГИУА. Серия “Информационные технологии, Электроника, Радиотехника”. – 2013. – Вып.16, №1. – С.68–74.
10. **Стакян М.Г., Систани Ш.Дж., Айказян М.Э.** Программное обеспечение количественной оценки процессов управления валов //Вестник ГИУА. Серия “Информационные технологии, Электроника, Радиотехника”.– 2012. Вып.15, №2. – С.49–57.
11. **Худавердян С.Х., Айказян М.Э.** Схема для информационно-измерительных систем для оптоволоконных линий связи// Вестн. Инж. Акад. Армении. –2016. Т.13, №4. – С.471–476.
12. **Худавердян С.Х.,Айказян М.Э.** Моделирование дифракции для конусных тел с применением Matlab// Вест. НПУА.

”Информационные технологии, электроника, радиотехника”. –
Ер.2017. – С.45 - 52.

Ամփոփում

Տեղեկատվական տեխնոլոգիաների զարգացումը ստիպեց ստեղծել նոր գիտելիքահենքային ուղղություններ: Արդյունքում առաջացավ նոր գաղափարների ու նրանց հիման վրա գիտական սարքավորումների ստեղծման պահանջարկ: Օպտիկական ազդանշանների վերլուծության բնագավառում ստացվող տվյալների մեծ ծավալը ստիպում է մշակել ինֆորմացիայի արագ հետազոտման նոր մեթոդներ և կիրառման ձևեր:

Օպտիկական պատկերների հետազոտման մեթոդներում հատուկ տեղ են զբաղեցնում սպեկտրային վերլուծական գործընթացը: Նրանք կիրառվում են, սպեկտրի կլանման, անդրադարձման, և անցաթողման գործընթացները ներառող տարբեր տեսակ սարքավորումներում: Սպեկտրների հետազոտման ընթացքում ստացվում է նաև ինֆորմացիա շրջակա միջավայրի բնութագրիչների վերաբերյալ: Հետազոտական աշխատանքների կատարման ընթացքում, ձայնա-օպտիկական մեթոդների կիրառությունը աջակցեց ստեղծելու գիտական սարքավորումներ, որոնցից ստացած արդյունքները ավելի ճշգրիտ են, նախկինում ստացվածների նկատմամբ: Հետազոտությունների ընթացքում իհայտ են եկել նոր հատկություններ, մասնավորապես դիֆրակցիայի պատկերի փոփոխությունը կախված լույսի ճառագայթի ու ուլտրաձայնի փոխազդեցություններից՝ կազմած անկյունը:

Ձայնա-օպտիկան, որը առանձին գիտություն ձևավորվել է անցյալ դարի 70-թթ., ստիպեց գիտնականներին նոր սկզբունքներով աշխատող սարքավորումներ մշակել ու կիրառել հետազոտման ոլորտում: Նման սարքավորումները բնութագրվում են մեծ արագագործությամբ, տվյալների ճշգրտությամբ, ԷՀՄ-ին միացման հեշտությամբ, շարժում պարունակող տարրերի բացակայությամբ և փոքր չափերով: Այդ սարքերից են՝ ակուստո-

օպտիկական ֆիլտրերը, դեֆլեկտորները, մոդուլյատորները և այլն:

Աշխատանքի նպատակն է եղել՝ իրականացնել ձայնա-օպտիկայի տարածական ֆիլտրացիայի տարբեր բնագավառների հետազոտում և ներկայացնել առաջարկություններ, հեռահաղորդակցության համակարգերում օպտիկական ինֆորմացիայի, ինչպես տեսական մշակումների կատարման, այնպես էլ պրակտիկ օգտագործումն համար: Աշխատանքում ներկայացված և լուծված են հետևյալ խնդիրները.

Իրականացվել է ձայնա-օպտիկական (ՉՕ) փոխազդեցության ժամանակ սպեկտրների տեսակների, ըստ դրանց ձևատեսակի, դասակարգում, փոխազդեցության ժամանակ առաջացած շեղումների բնութագրում, արդյունքների ստացում և նրանց տեսական մշակում, ինչպես նաև կիրառական խնդիրների լուծման համար ՉՕ-ի սարքավորումների հիմունքների ուսումնասիրում: Մաթեմատիկական ապարատի հիման վրա դիֆրակցիոն պատկերների մշակում՝ այընտրանքային մեթոդիկայով, որի հիմքում ընկած է վեյվլեթ-անալիզը:

Դիտարկված են հավանականությունների տեսության և վիճակագրության հիմնական դրույթները, որոնք ընդգրկված են «ձայնա-օպտիկ» ազդանշանի մշակման և վերլուծության գործընթացում: Օգտագործվել են Ֆուրյեի արագ ձևափոխության և բազմանդամային լավարկման անալիզի մեթոդները: Արդյունքում ստեղծվել է ծրագրային ապահովման փաթեթ, որի օգնությամբ մշակվել են փորձնական ճանապարհով ստացված սպեկտրոգրամանները ու ճշգրտվել են նախկինում ստացված տվյալները: Ստեղծված է «ձայնա-օպտիկ» ազդանշանի հետազոտման մեթոդիկա, որը հնարավորություն է ընձեռում մշակել նոր գիտահետազոտական սարքեր, ու ստանալ ճշգրտված փորձնական արդյունքներ: Ներկայացված դրույթները և ԾԱ-ը թեստային փորձարկում է անցել ՖԿՂԻ-ի գիտահետազոտական աշխատանքների կատարման ընթացքում առաջացած խնդիրներն իրականացնելիս:

Abstract

The development of information technologies created a new scientifically justified economy, which in its turn requires the necessity to introduce new ideas and scientific equipment made on their basis. As a result emerged a huge information volume, whose implementation in the area of optical signal analysis pushes to develop new methods and application forms for fast processing of information. Spectroscopic methods occupy a special place among the methods of processing optical images. They are implemented in different spectral equipment of absorbing, reflection and etc. While spectrum study, as well, information is obtained regarding the environmental characteristics. During research work the acousto-optical application helped to create scientific devices, which give spectral analysis results are more accurate than the former results. In the process new properties emerge that require interpretation. The acousto-optics as a separate branch of science was formed in the 70-ies of the last century and pushed scientists to develop equipment working on new principals. Such equipment is characterized by high operational speed, data accuracy, easy connection to a computer, the absence of moving details, small weight and volume.

The objective of the works is to facilitate the research work in the field of acousto-optics develop models and to implement the improved models for the design of the equipment. To achieve these goals the following steps are taken: To classify the spectra types by their forms in the process acousto-optic (AO) interaction and characterize the shifts during the interaction, obtaining the results and their theoretical processing. The study of theoretical basis of AO devices for the solution of applied problems. The new methods selections for the image spectral processing on the basis of the mathematical apparatus.

The implementation of wavelet-analysis. The creation of working model for the processing of "acousto-optical" . Here are considered the main concepts of the probability theory and statistics that are involved for the processing and analysis of "acousto-optical" signals. Here are implemented Furious fast transformation and interpolation polynomial methods of analysis. On this basis it is developed a software package, with which help the experimental spectrograms are processed and the obtained results are corrected. It is developed the method for the processing of "acousto-optical" signals, which enables to develop new scientific - research devices and obtain accurate experimental results. The submitted

principles and software are tested for the scientific problem solutions during the research work at IAPP.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'A. J. ...', located in the upper right quadrant of the page.