

На правах рукописи

Перчик Алексей Вячеславович

**Специализированные методы и аппаратура
спектрально-поляризационного анализа
оптических свойств объектов**

01.04.01 - «Приборы и методы экспериментальной физики»

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2007 г.

Работа выполнена в НТЦ уникального приборостроения РАН

Научный руководитель: д.ф.м.н. Пожар Витольд Эдуардович

Официальные оппоненты: д.ф.м.н. Белогорохов Александр Иванович
к.ф.м.н. Чернятин Александр Юрьевич

Ведущая организация: Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений

Защита состоится 14 ноября 2007 г. в 15 часов 30 минут
на заседании диссертационного совета Д 002.135.01
НТЦ уникального приборостроения РАН
по адресу: г. Москва, ул. Бутлерова, д. 15.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
НТЦ уникального приборостроения РАН

Автореферат разослан 12 октября 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Отливанчик Е. А.

Общая характеристика работы

Спектральные и поляризационные приборы решают общую задачу - исследование физических свойств объектов путем анализа различных параметров оптического излучения, таких как энергетическая мощность излучения, распределение энергии излучения по спектру, поляризация излучения. Измерение спектров позволяет определять состав образцов, решать задачи контроля химических процессов, мониторинга состояния объектов. Регистрация спектральных изображений используется для обнаружения и идентификации объектов и для визуализации их структуры.

Поляриметрия широко используется в аналитической химии для идентификации и количественного анализа оптически активных веществ, в фармацевтике при производстве таких веществ как камфара, кокаин, никотин и др., в медицине при биохимических исследованиях для определения содержания белка, глюкозы и сахарозы, в биохимии при титровании и для контроля хроматографического разделения оптически активных веществ, прослеживания кинетики биохимических реакций (например, энзимного расщепления). Большая практическая ценность метода заключается в его высокой точности (наибольшей из известных методов определения концентрации растворов), простоте и быстроте. Высокая чувствительность важна не только для получения требуемой точности результатов измерений - она дает возможность анализа при малых количествах образцов. Например, в современных приборах в 0.1 мл раствора можно идентифицировать $2.5 \cdot 10^{-9}$ г глюкозы.

Во многих задачах необходимо измерять как спектральные, так и поляризационные свойства объектов. Например, при исследовании световых потоков в атмосфере регистрируются спектры излучения с горизонтальной и вертикальной поляризацией. При поляриметрическом исследовании кинетики протекания химических реакций оптически активных веществ измерения проводят на заданных длинах волн, для чего в поляриметрах используют несколько источников монохроматического света. Для решения многих

исследовательских и технологических задач активно используются спектрополяриметры.

Современные методы проведения исследований требуют постоянного повышения характеристик используемых приборов, в частности точности и скорости измерений, объема регистрируемой и обрабатываемой информации. При этом непрерывно совершенствуются как элементная база, так и используемые методы измерений, а также постоянно расширяются требования к обработке данных и представлению информации. Фактически нормой становится непрерывное совершенствование (модификация) измерительных систем. Все это делает **актуальными** задачи адекватного построения современных приборов и их программного обеспечения, отвечающего этим требованиям.

Целью работы являлась разработка схем построения приборов спектрального и поляризационного анализа, а также программного обеспечения и методик работы с данными приборами, отвечающих требованиям высокой производительности, гибкости управления, возможности постоянной модернизации.

В частности, в работе решены следующие задачи:

- разработки и создания средств и методов высокопроизводительной регистрации с помощью акустооптического (АО) видеомонохроматора спектральных изображений неорганических и биологических объектов для технологических и медицинских применений;
- создания соответствующего специализированного программного обеспечения для АО видеомонохроматора и для нового высокоточного быстродействующего поляриметрического комплекса;
- разработки специализированных методов исследования влияния элементов аппаратуры на статистические характеристики выходных сигналов с целью устранения этого влияния для повышения точности измерений и проведения исследований характеристик аналогово-цифровых преобразователей (АЦП).

Научная новизна заключается в том, что в ходе выполнения работы была создана новая методика определения характеристических длин волн исследуемых объектов с помощью видеоспектрометра; данная методика была реализована в программном обеспечении, построенном на технологии виртуальных приборов LabView; был разработан математический метод для оценки статистических характеристик случайных последовательностей при исследовании сигналов оптико-электронных приборов.

С **практической** точки зрения с помощью видеоспектрометра был проведен ряд исследований различных объектов. При этом были найдены биологические объекты, обладающие характерными особенностями в исследуемом спектральном диапазоне; было разработано новое программное обеспечение для программно-аппаратного поляриметрического комплекса, основанное на корреляционном алгоритме анализа сигнала поляриметрического тракта; были проанализированы различные варианты построения программной и аппаратной частей комплекса и выбран оптимальный из них.

Кроме того, с помощью разработанной методики оценки статистических характеристик случайных последовательностей было проведено исследование аналогово-цифровых преобразователей, входящих в состав разрабатываемых комплексов.

Результаты диссертационной работы были применены в разработках, проводимых в Научно Технологическом Центре Уникального Приборостроения РАН, Федеральном Государственном Научно Исследовательском Центре Научного Приборостроения при МГТУ им. Баумана, Институте Органической Химии РАН.

Положения выносимые на защиту

На защиту выносятся разработанные и реализованные программными средствами в составе измерительных комплексов:

1. Новая методика определения с помощью АО видеоспектрометра характеристических длин волн исследуемых объектов, связывающая в

единой программе функции анализа изображений и управления элементами установки и позволяющая автоматизировать процесс исследований.

2. Специализированный алгоритм работы поляриметрического измерительного комплекса, обеспечивший улучшение точностных и скоростных характеристик по сравнению с характеристиками аналогов.
3. Математический метод оценки статистических характеристик случайных последовательностей с равномерным законом распределения, позволяющий проводить детальные исследования шумовых сигналов оптико-электронных приборов.

Основные результаты работы были **апробированы** на следующих научных конференциях:

- Вторая международная научно-практическая конференция “Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabView и технологии National Instruments” 15 ноября 2004 г. Москва.
- SPIE Conference “Acousto-optics and Photoacoustics” 30 August - 2 September 2005 Warsaw, Poland.
- Четвертая международная научно-практическая конференция “Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabView и технологии National Instruments” 18-19 ноября 2005 г. Москва.
- Вторая Троицкая конференция “Медицинская физика и инновации в медицине” 16-19 мая 2006 г. Троицк.
- Пятая международная научно-практическая конференция “Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabView и технологии National Instruments” 17-18 ноября 2006 г. Москва.
- Седьмая международная конференция “Прикладная оптика 2006” в рамках конгресса “Оптика XXI век” 16-20 октября 2006 г. Санкт-Петербург.
- Международная научно - практическая конференция ”Современные информационные и электронные технологии” 21-25 мая 2007 г. Одесса.

- Вторая Международная конференции “Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации” 25-27 сентября 2007 г. Суздаль.

Основные результаты диссертационной работы **опубликованы** в 12 печатных работах, в том числе 3 статьях, 6 докладах и 3 тезисах выступлений на конференциях. Список публикаций приведен в конце автореферата.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, и заключения, в конце работы приведен список использованной литературы. Текст содержит рисунки и таблицы.

Краткое содержание работы

Во **введении** изложены цели диссертационной работы, обоснована актуальность работы, её научная новизна и практическая значимость, сформулированы положения выносимые на защиту.

Первая глава посвящена проблеме разработки и создания методики работы с видеоспектрометром и программного обеспечения, работающего по разработанной методике.

Микровидеоспектрометр представляет собой оптическое устройство, устанавливаемое на микроскоп и регистрирующее в произвольном спектральном интервале видимого диапазона изображение располагаемого на предметном столике объекта. Видеоспектрометр состоит из оптического блока, содержащего двойной АО монохроматор и видеокамеру, и блока управления, выполненного на базе системного блока персонального компьютера, в котором установлены плата контроллера видеомонохроматора и высокочастотные (ВЧ) модули управления. Программа управления АО монохроматором автоматически запускается при включении блока управления.

Схема видеоспектрометра представлена на рис. 1. Управление прибором и вывод изображения осуществляются с помощью внешнего компьютера, в котором установлена плата контроллера видеокамеры (фрейм-граббер) с программным обеспечением, позволяющим управлять параметрами функционирования видеокамеры, производить анализ изображения, а также задавать рабочую длину волны АО монохроматора.

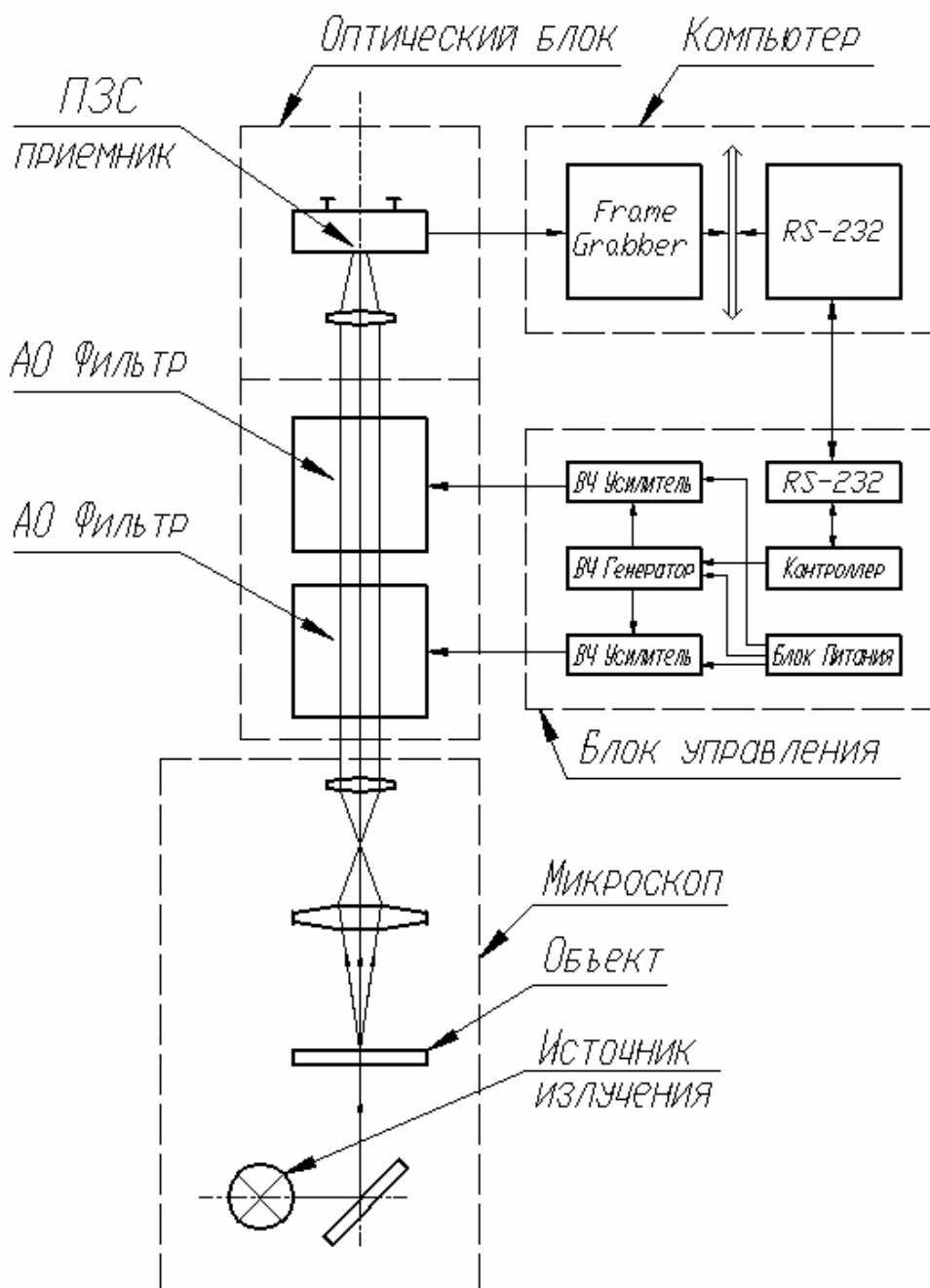


Рис. 1. Функциональная схема микровидеоспектрометра

Оптический блок имеет крепежный узел, позволяющий устанавливать и закреплять его на микроскопе со стандартным посадочным местом для бинокулярной насадки. Видеомонохроматор содержит два последовательно расположенных АО фильтра из парателлурита (TeO_2), использующих неколлинеарную схему дифракции с поляризационным выделением спектрального изображения объекта. Он имеет следующие характеристики:

- Спектральный диапазон 400 - 750 нм
- Полоса пропускания 1 - 5нм
- Число элементов изображения 300×300 .
- Двойная монохроматизация излучения

Видеоспектрометр позволяет получать серии спектральных изображений в интерактивном режиме, при котором параметры видеокамеры могут регулироваться оператором.

Методика проведения исследований с помощью видеоспектрометра включает позиционирование образцов, юстировку системы, подстройку фокусировки в ходе перестройки по спектру, регистрацию спектральных изображений, анализ полученных снимков, вычисление величин спектрального и пространственного контраста, выбор оптимальных для решаемой задачи рабочих длин волн.

При исследовании образцов необходимо точное определение местоположения интересующей области объекта и точная фокусировка микроскопа.

В результате исследований для каждого типа образцов получается серия спектральных изображений, на некоторых из которых контрастно различаются элементы и структура образцов в определенном, характерном для этого элемента или структуры участке спектра.

Анализ изображений осуществлялся с помощью программы «Видеоскан», являющейся штатной программой видеокамеры. Вначале выбиралось изображение исследуемого образца на определенной длине волны. На нем выбиралась и фиксировалась однородная область - при этом автоматически

отображалась гистограмма распределения пикселей по интенсивности. На гистограмме выбиралось значение соответствующее математическому ожиданию распределения. Полученное значение заносилось в табличный процессор Excel, с помощью которого строились графики спектров пропускания.

Подобная методика измерений имеет существенные недостатки, такие как большая трудоемкость измерений и несогласованность между программным обеспечением монохроматора, видеокамеры и анализа изображений. Это приводит к большой трудоемкости проведения исследований с помощью прибора и соответственно низкой производительности. В некоторых случаях это приводит даже к невозможности проведения эксперимента (быстротекущие процессы, при которых исследуемый объект изменяет свои характеристики во времени).

Для решения этой проблемы был детально проанализирован алгоритм взаимодействия оператора с прибором и компьютером. На основе анализа предложена *новая, более производительная методика* работы с прибором и разработано программное обеспечение, реализующее эту методику.

При разработке использовались новейшие технологии визуального программирования средствами NI LabView (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), которые представляют собой среду прикладного графического программирования (язык G), позволяющие автоматизировать процессы измерений, обработки сигналов, отображения и архивирования результатов экспериментов. Разработанная программа представляет собой виртуальный прибор (Virtual Instrument), реализующий все предусмотренные функции. Сам измерительный комплекс при этом строится на основе персонального компьютера (ПК), снабженного всеми необходимыми внешними аппаратными интерфейсами для подключения датчиков и исполнительных элементов. Входной сигнал с оптического блока (например, изображение на определенной длине волны) поступает в ПК и обрабатывается виртуальным прибором (например, вычисляются заданные характеристики изображения),

после чего результат отображается для оператора (в графическом или текстовом виде) и сохраняется в необходимой форме (например, в виде файла или числа в таблице), а также вырабатывается управляющий сигнал для блока управления видеоспектрометра (например, перестройка на другую длину волны, изменение времени экспозиции или коэффициента усиления). Таким образом, в измерительном комплексе осуществляется *обратная связь*, позволяющая изменять процедуру измерения в соответствии с получаемыми результатами.

В разработанной для АО видеоспектрометра программе реализованы режимы как автоматического, так и интерактивного сканирования по спектру. Также для удобства оператора реализовано отображение на дисплее цвета, соответствующего длине волны настройки видеоспектрометра, что, кроме того, позволяет оператору задавать длину волны, основываясь на цветовом восприятии. Для реализации этой функции и пересчета длины волны света в систему RGB, используемую в дисплее ПК, была разработана специальная программа, использующая линеаризованную модель цветного зрения человека.

В ходе работы также возникла необходимость написания программного интерфейса между драйвером фрейм-граббера и программным интерфейсом LabView для включения в виртуальный прибор функций работы с видеокамерой. Интерфейс реализован в среде Borland Delphi и представляет собой библиотеку функций для работы с фрейм-граббером, что позволило обеспечить прямой доступ к видеоданным и возможность реализации произвольного алгоритма обработки данных в реальном времени.

Созданный по модульному принципу виртуальный прибор допускает простую замену АО монохроматоров и видеокамер на другие, независимо от конкретной реализации их управления. Кроме того, в программу заложены функции управления микроскопом, а именно фокусировки и перемещения столика микроскопа для позиционирования объекта. Это дает возможность в случае установки видеоспектрометра на автоматизированные микроскопы непосредственно использовать все его функции.

Таким образом, созданный в работе комплекс программ позволяет проводить с помощью АО видеоспектрометра исследования объектов с высокой производительностью, в том числе в автоматическом режиме. Алгоритм работы при этом может быть изменен средствами графического программирования в течение нескольких минут.

Во **второй** главе рассмотрена проблема управления поляризметрическим измерительным комплексом. Поляризметрический комплекс служит для определения вращения плоскости поляризации излучения, прошедшего через исследуемый раствор оптически активного вещества, и является программно управляемым прецизионным сервополяриметром, работающем в двух спектральных диапазонах. Измерительный комплекс включает в себя приборный блок, системный блок управляющего компьютера и монитор.

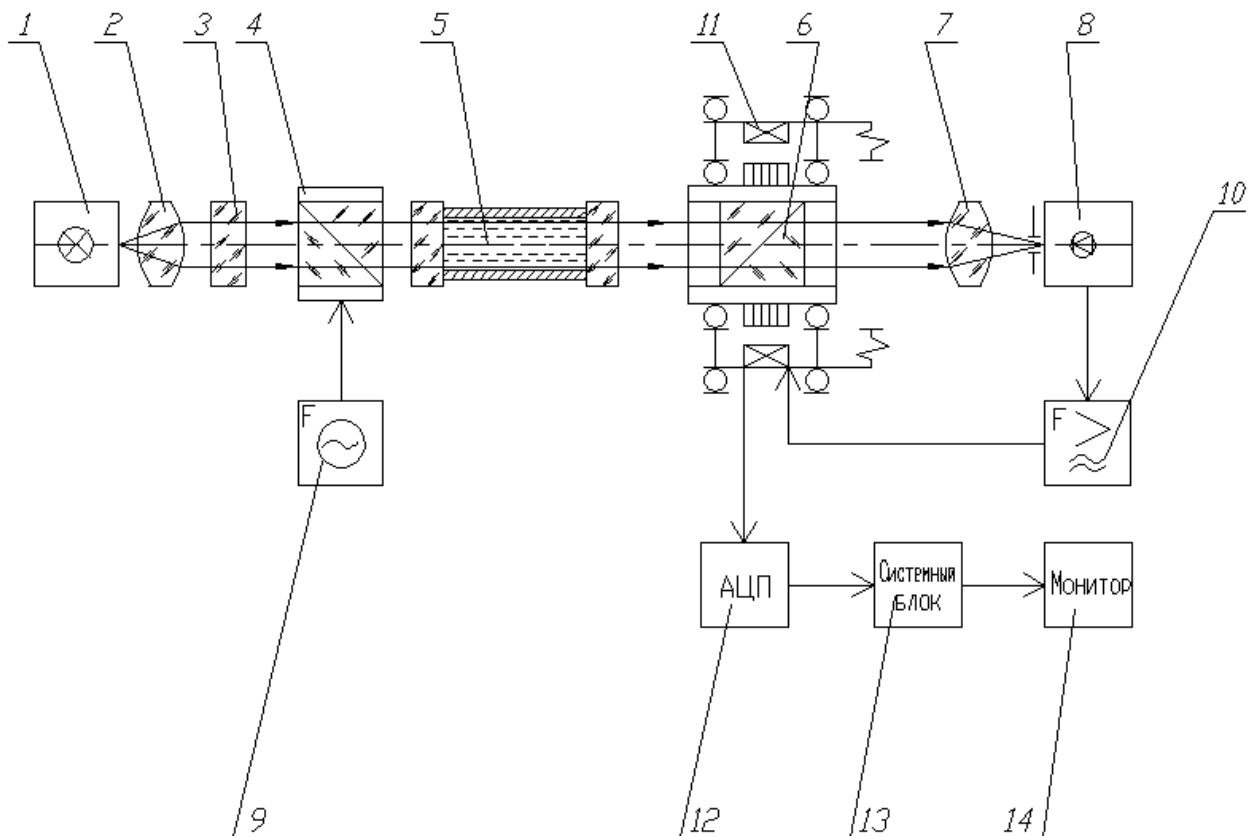


Рис. 2. Принципиальная схема поляризметрического комплекса

Поляризметрический комплекс работает следующим образом (рис. 2). Излучение источника 1 проходит через конденсор 2, светофильтр 3 и попадает

на поляризационный модулятор 4, после чего, пройдя через кювету с исследуемой жидкостью 5, попадает на поворачивающийся вокруг своей оси анализатор 6 и затем фокусируется объективом 7 на светочувствительной площадке фотоумножителя (ФЭУ) 8. Сигнал с ФЭУ усиливается избирательным усилителем 10, настроенным на частоту модуляции F , задаваемую генератором 9, после чего подается на обмотку двигателя анализатора 11. Двигатель соединен с датчиком угла поворота анализатора, сигнал с которого оцифровывается АЦП 12 и анализируется компьютером 13, а результат отображается на мониторе 14.

Поляризационный модулятор 4 выделяет из входящего неполяризованного излучения линейно поляризованную составляющую, причем угол в азимутальной плоскости этого излучения меняется по синусоидальному закону с частотой генератора F .

В отсутствие образца жидкости и при анализаторе скрещенном с поляризатором составляющая сигнала ФЭУ на частоте F имеет нулевую амплитуду. В присутствии оптически активного образца эта составляющая сигнала появляется и детектируется избирательным усилителем 10, сигнал которого подается на двигатель анализатора. Анализатор поворачивается до тех пор, пока угол его поворота не скомпенсирует угол поворота плоскости поляризации, связанный с оптической активностью исследуемого образца, и не исчезнет составляющая с частотой F . Угол поворота анализатора фиксируется с помощью АЦП и отображается в заданном пользователем виде на мониторе. Для обеспечения точностных характеристик поляриметрического комплекса, соответствующих современным требованиям, необходимо было модернизировать некоторые его элементы и соответственно разработать программное обеспечение, обеспечивающее управление этими элементами.

В разработанном новом комплексе управление двигателем анализатора и анализ сигнала ФЭУ осуществляется с помощью компьютера, что дало возможность перейти от схемы авторегулирования комплекса к схеме

регулирования с помощью компьютера, что позволило повысить точность измерений более чем в 10 раз.

Для управления и контроля работы комплекса используются 4 порта интерфейса RS-232, а для оцифровки данных используется двухканальный 16-ти разрядный АЦП звуковой карты компьютера с разрешением 44,1 кГц. К портам подключаются следующие устройства: вход схемы управления источником излучения, концевые переключатели зеркала, осуществляющего выбор источника излучения, датчик напряжения питания ФЭУ, оптический датчик угла поворота. Управление двигателем осуществляется через последовательный порт системной платы, вход этого порта используются для получения информации о состоянии концевых выключателей исполнительного элемента. Сигнал с ФЭУ и опорный сигнал от генератора поляризационного модулятора подается на линейный вход аналогово-цифрового преобразователя звуковой карты ПК.

Для анализа угла поворота анализатора и для обработки сигналов поляриметра в среде LabView был разработан специализированный комплекс программ (виртуальный прибор).

Его важнейшей составляющей является программа вычисления сигнала управления приводом анализатора. Этот сигнал пропорционален сигналу ФЭУ на частоте F модуляции поляризации. Для нахождения последнего был применен корреляционный алгоритм, в котором за сигнал управления принимается центральное значение функции корреляции сигнала с ФЭУ $x(t)$ и опорного сигнала с генератора поляризационного модулятора $y(t)$

$$R_{xy}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)y(t+t)dt .$$

Оба сигнала поступают на идентичные каналы АЦП звуковой карты компьютера. Из полученного со звуковой карты массива значений выбирается временной интервал, длина которого кратна периоду опорного сигнала, для чего сначала вычисляется частота сигнала и точка начала первого полного периода в последовательности. Подготовленные описанным образом массивы

данных обрабатываются корреляционной функцией, входящей в библиотеку среды LabView. Обработанные сигналы: временной спектр сигнала с ФЭУ, функция взаимной корреляции сигналов и график изменения ее максимального значения, - отображаются для оператора на мониторе.

Полученное значение рассогласования $R_{xy}(0)$ передается программе управления шаговым двигателем через межпрограммный интерфейс DataSocket, работающий по протоколу TCP/IP. В программе также предусмотрена возможность изменения коэффициента усиления управляющего сигнала с целью оптимального регулирования.

Интерфейс DataSocket также используется для получения значения напряжения на ФЭУ и передачи управляющей программе значения тока питания светодиода.

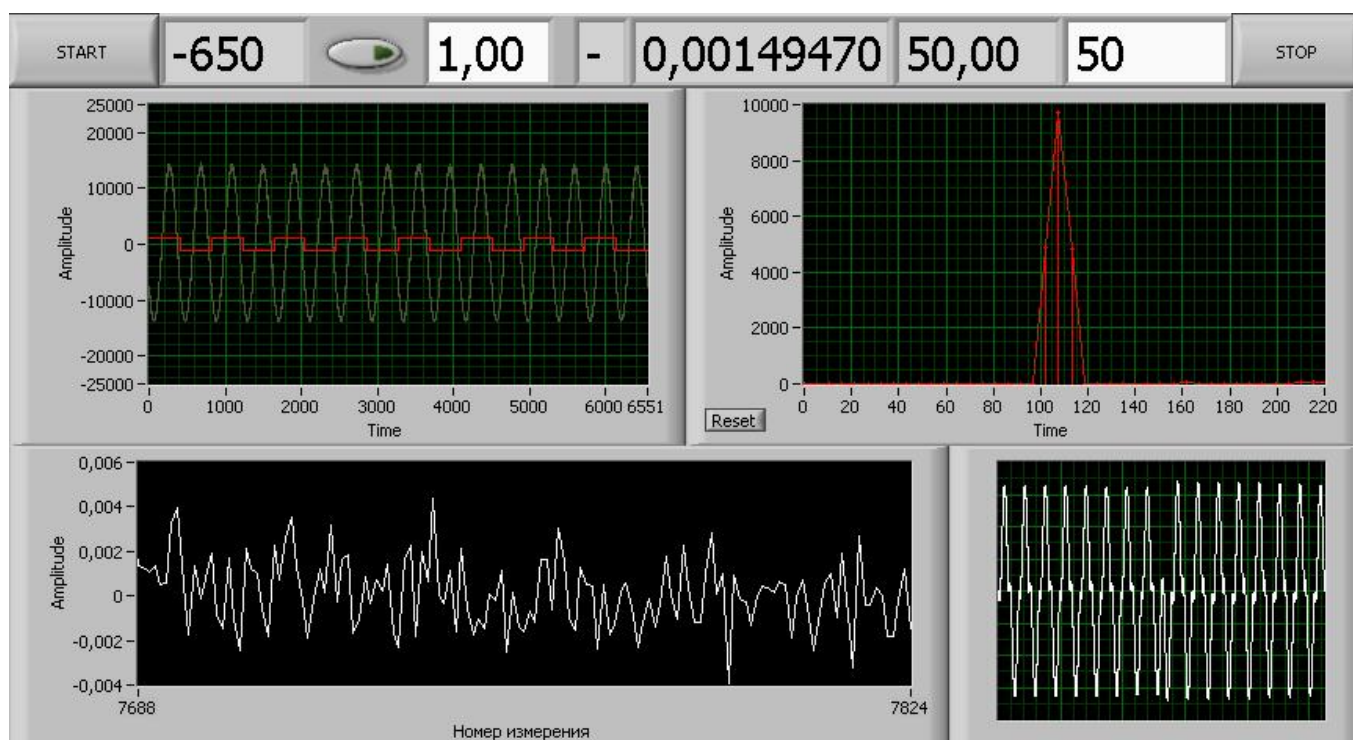


Рис. 3. Интерфейс программы вычисления рассогласования

Схема питания источника излучения (светодиода) позволяет выбирать яркость в зависимости от оптической плотности исследуемого образца. Для этого разработана схема управляемого источника тока, на основе цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) Maxim MAX 538. В LabView была реализована программа управления ЦАП по интерфейсу SPI через COM порт

ПК. Программа управления поляриметром, анализируя мощность сигнала с ФЭУ, перед началом измерения постепенно повышает ток, протекающий через светодиод, до необходимого значения или позволяет задать ток вручную. Также в программе работы с ЦАП реализован опрос концевых переключателей зеркала выбора источника излучения. Для пользователя отображается длина волны излучения светодиода и поле, окрашенное в цвет, соответствующей этой длине волны, при этом используется подпрограмма, описанная в первой части работы. Для индикации правильности работы программного интерфейса для пользователя выводится значение тока, устанавливаемое на ЦАП.

Для корректной работы с поляриметром оператору необходима информация о величине напряжения на ФЭУ. Для этого была разработана схема АЦП на микросхеме Maxim MAX 1240, работающая через COM порт ПК и использующая интерфейс SPI, и программа, снимающая с АЦП значение напряжения и передающая его основной программе.

Для управления шаговым двигателем поляриметра была разработана специальная программа, работающая через интерфейс COM ПК. Сигнал рассогласования, получаемый от программы анализа через интерфейс DataSocket посредством сигнальных линий COM порта, передается на логическую схему управления двигателем. Скорость вращения двигателя выбирается в соответствии с величиной сигнала рассогласования. Угол поворота анализатора вычисляется программой, которая принимает значение угла поворота с интерфейса датчика “ЛИР”, механически связанного с приводом анализатора.

Для исследований поляриметрического сигнала существует возможность разработки дополнительных программ. Например, была разработана программа для исследования статистического распределения сигнала рассогласования в момент компенсации. Программа получает данные с помощью программного интерфейса DataSocket, принимает значения сигнала управления, накапливает их и отображает гистограмму распределения.

Разработанная и реализованная схема управления поляриметрическим комплексом обеспечивает необходимую точность и быстродействие прибора, а также позволяет проводить дальнейшие исследования влияния элементов поляриметрического тракта на выходной сигнал, направленные на совершенствование тракта, с целью дальнейшего повышения точности и быстродействия измерений.

Третья глава посвящена задаче оценки статистических характеристик цифровых оптико-электронных трактов приборов.

В задачах цифровой обработки сигналов возникающих при использовании оптико-электронных приборов непрерывный электрический сигнал приемника оптического излучения с помощью АЦП преобразуется в дискретную последовательность. На закон распределения чисел в этой последовательности влияет как закон распределения входного сигнала, так и погрешности (неидеальность) электронного тракта и АЦП. Точная модель преобразования значений аналогового сигнала в последовательность дискретных значений является достаточно сложной даже без учета неидеальности преобразователя.

В работе была предложена модель АЦП, описывающая связь законов распределения случайного сигнала на входе и дискретной случайной последовательности на выходе АЦП. Разработанная математическая модель позволяет оценить влияние неидеальности передаточной характеристики АЦП на статистику сигнала на выходе. На основе этой модели предложена методика оценки качества АЦП и их применимости в цифровых оптико-электронных трактах приборов.

У некоторых типов АЦП по технологическим причинам шаг квантования не удастся сделать постоянным, а поэтому всегда имеет место погрешность преобразования.

На рис. 4 показано влияние неравномерности шага квантования реального АЦП на статистические характеристики случайной последовательности на его выходе: некоторые значения цифрового сигнала i на выходе АЦП менее вероятны, чем другие. Эти отклонения от идеальности можно охарактеризовать

“относительной вероятностью” $p(i)$ появления значения i . Тогда процесс преобразования случайного сигнала в АЦП можно разделить на два этапа: 1) преобразование идеальным АЦП и 2) внесение искажений реальным АЦП. Вероятность появления на выходе АЦП значения i может быть вычислена в этом случае как произведение вероятности появления этого числа на выходе идеального АЦП и “относительной вероятности” $p(i)$ реального АЦП.

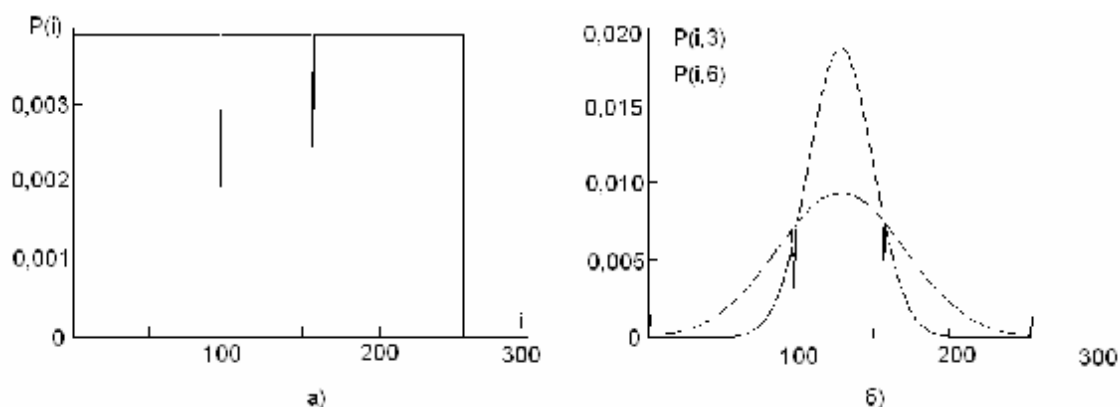


Рис. 4. Вероятности появления значений на выходе неидеального АЦП для разных видов статистики входного сигнала:

а - сигнал с равномерным распределением; б - сигнал с нормальным распределением

Рассмотренную математическую модель можно использовать для создания методики статистической оценки качества (идеальности) АЦП и цифрового тракта. В ней случайный входной сигнал задается его плотностью вероятности, далее теоретически определяются вероятности появления чисел на выходе идеального АЦП, а неидеальность АЦП учитывается функцией $p(i)$.

Удобство использования этой методики заключается в возможности экспериментального определения передаточной характеристики реального АЦП. При наличии на его входе случайного сигнала с равномерным законом распределения “относительная вероятность” может быть определена как отношение вероятностей появления числа i на выходе идеального и реального АЦП.

При этом для идеального АЦП вероятности вычисляются теоретически, исходя из разрядности АЦП, а частота появления значения i сигнала на выходе

исследуемого АЦП оценивается экспериментально с использованием выборки большого объема.

Основную сложность практической реализации методики представляет получение непрерывных сигналов с равномерным распределением. Для этого можно использовать генератор пилообразного напряжения либо генератор случайных чисел с высококачественным цифро-аналоговым преобразователем.

Для статистической оценки степени равномерности распределения отсчетов случайной последовательности сигналов был разработан специальный метод, позволяющий получать результаты на большом массиве данных, поступающих с высокой скоростью (частотой).

За оценку неравномерности ε в этом методе принят нормированный на среднее максимальный разброс появления разных значений сигнала

$$\varepsilon = \frac{MAX(N_i) - MIN(N_i)}{2 \cdot \bar{N}}$$

где N_i - количество появлений значения i в последовательности, \bar{N} - среднее количество появлений.

Для данного случая можно показать, что законы распределения двух случайных величин одинаковы, если равны суммы всех их моментов. Следовательно, для проверки гипотезы равномерности распределения измеряемой последовательности можно вычислить значение суммы моментов и сравнить их с рассчитанной заранее суммой соответствующих моментов предполагаемого распределения.

Для того, чтобы метод мог работать в режиме реального времени и с большими объемами выборки, расчет суммы моментов организован таким образом, что при добавлении новых значений нет необходимости заново проводить расчет по всей последовательности: количество производимых вычислений при добавлении каждого нового значения постоянно, и не зависит от размера выборки.

Предложенный метод оценки равномерности распределений случайной последовательности дал возможность определять отклонения от равномерности

ε на уровне 10^{-3} - 10^{-5} на больших массивах чисел в реальном времени. Это позволило отработать методы получения сигналов (последовательностей) с достаточно высокой степенью равномерности и путем их преобразования получать сигналы (последовательности), имеющие разнообразные заданные распределения, что дало возможность осуществить моделирование (имитацию) работы оптико-электронных приборов и оценить их характеристики.

Следует также отметить, что данный метод можно применять для сравнения закона распределения случайной последовательности с практически любым теоретическим законом распределения.

В заключении приведены основные результаты работы и сформулированы следующие выводы:

1. Разработанная методика работы с микровидеоспектрометром позволяет повысить производительность работы прибора и уменьшить для оператора трудоемкость эксперимента.

2. Созданный комплекс программ (виртуальный прибор), объединяющий программы управления видеомонохроматором и захвата изображения видеокамеры, позволяет осуществлять управление видеомонохроматором и камерой в зависимости от полученной информации об объекте.

3. Разработанный специализированный комплекс программ для поляриметрического измерительного комплекса дает возможность перейти от схемы авторегулирования комплекса к схеме регулирования с помощью компьютера, что позволило повысить точность измерений в 10 и более раз.

4. Комплекс программ поляриметрического комплекса спроектирован по модульному принципу, что открывает возможность дополнять его различными подпрограммами (например, подпрограммой статистического анализа сигналов) и быстро заменять уже существующие подпрограммы. (Например, при изменении схемы управления двигателем была заменена только лишь одна, соответствующая подпрограмма комплекса). Более того, такая структура программного обеспечения позволяет проводить исследования влияния

элементов поляриметрического тракта на выходной сигнал, направленные на совершенствование тракта, с целью повышения точности измерений.

5. Предложенная методика оценки влияния неидеальности АЦП на статистические характеристики сигнала на его выходе позволяет проводить исследования статистических характеристик оптико-электронных трактов приборов. С ее помощью было показано, что использовавшиеся в поляриметрическом комплексе АЦП имели существенную дифференциальную нелинейность, что позволило объяснить искажения имевшие место в процессе преобразования.

6. Разработанный метод определения степени отклонения закона распределения значений в случайной последовательности от равномерного закона распределения позволяет обнаруживать степень отклонения на уровне $\varepsilon = 10^{-3} - 10^{-5}$ в режиме реального времени без ограничений по максимальному объему выборки.

Список публикаций автора:

1. А.С.Мартынов, А.В.Перчик, Г.И.Уткин “Цифровой амплитудный анализатор для учебно-исследовательского эксперимента” Материалы конференции “Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabView и технологии National Instruments” М.:РУДН, 2004, с.87

2. V.I.Pustovoi, V.E.Pozhar, M.M.Mazur, V.N.Shorin, I.B.Kutuza, A.V.Perchik “Double-AOTF spectral imaging system.” In “Acousto-optics and Photoacoustics”, A.Sliwinski, R.Reibold, V.B.Voloshinov. Eds. Proceedings of SPIE, Vol.5953, 2005, p.200-203

3. А.С.Мартынов, А.В.Перчик, Г.И.Уткин “Программное обеспечение поляриметров в среде LabView” Сборник трудов конференции “Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabView и технологии National Instruments” М.:РУДН, 2005, с.206-210

4. В.Э.Пожар, В.И.Пустовойт, И.Б.Кутуза, А.В.Перчик “Перспективы использования акустооптического видеоспектрометра для задач фотолюминесцентной диагностики” **Альманах клинической медицины**, том XII, М.:2006, с.28

5. А.С.Мартынов, А.В.Перчик, Г.И.Уткин “Программное обеспечение оптико-электронных приборов в среде LabView” Труды 7 Международной конференции “Прикладная оптика 2006” Том 3 “Компьютерные технологии в оптике” СПб.:2006, с.309-313

6. А.С.Мартынов, А.В.Перчик, Г.И.Уткин “Метод оценки параметров распределений случайных последовательностей при статистических

исследованиях качества цифровых оптико-электронных приборов”
Измерительная техника №11 М.:2006, с.33-36

7. А.С.Мартынов, А.В.Перчик, Г.И.Уткин “Прецизионный цифровой преобразователь угловых перемещений” Сборник трудов конференции “Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabView и технологии National Instruments” М.:РУДН, 2006, с.272-274

8. И.П.Шилов, В.Э.Пожар, В.В.Григорьянц, А.В.Перчик, В.Н.Шорин “Разработка акустооптического видеоспектрометра с кварцевыми световодами повышенной апертуры для фотолюминесцентной диагностики рака” Труды 7-ой международной научно-практической конференции ”Современные информационные и электронные технологии” Одесса:2007

9. В.И.Пустовойт, В.Э.Пожар, Е.А.Отливанчик, С.В.Боритко, А.В.Перчик, В.А.Суворов, Г.Н.Шкроб, В.В.Твердов, И.Б.Кутуза, А.Е.Отливанчик В.И.Шорин, М.М.Мазур, В.Н.Жогун “Современные средства и методы акустооптической спектрометрии” **Успехи современной радиоэлектроники** №8 М:2007, с.48-56

10. А.С.Мартынов, А.В.Перчик, Г.И.Уткин “Оценка влияния параметров АЦП на статистические характеристики сигнала моделируемого оптико-электронного тракта” **Измерительная техника** №8 М:2007, с.12-15

11. В.И.Пустовойт, Е.А.Отливанчик, В.Э.Пожар, А.В.Перчик, В.А.Суворов, Г.Н.Шкроб, В.И.Шорин, М.М.Мазур, В.Н.Жогун “Создание программируемого адаптивного акустооптического спектрометра для дистанционного зондирования водной поверхности” Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова серия “Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации” выпуск 2 М:2007, с.147-150

12. В.Э.Пожар, А.В.Перчик, В.Н.Шорин, С.В.Боритко, И.Б.Кутуза “Спектрометрический стенд на основе акустооптических монохроматоров для задач фотолюминесцентной спектроскопии” Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова серия “Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации” выпуск 2 М:2007, с.112-116.

Усл. печ. л. 1.4 Тираж 100 экз. Заказ 186

отпечатано 09.10.2007 в НТЦ УП РАН

117342, г.Москва ул. Бутлерова, д.15