

1575815

На правах рукописи

Дерезовский Дмитрий Валерьевич

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-
ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АНАЛИТИЧЕСКИХ
ОПТИКО - ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ**

**Специальность 05. 13. 18 - Математическое моделирование
численные методы и комплексы программ**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Москва, 2001



Научный руководитель:

кандидат технических наук,
доцент Алехнович В.И.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор Уткин Г.И.

кандидат физико-математических наук,
доцент Соловьев И.А.

Ве,

машиностроения

1575815

Дерезовский Д

Математическое моде-

лирование информации

Мо
по 2001

0.00

» 2001 г. в
ного Совета Д 212.141.15 при
ом университете им. Н.Э.Баумана
я ул., д.5.

Апр. 14⁰⁵

Нотен х

блиотеке МГТУ им. Н.Э.Баумана.

09.03.05

е печатью учреждения, просим
Бауманская ул., д.5., МГТУ им.
ационального совета.

2001 г.

1575815

Волков И.К.

Общая характеристика работы

Актуальность работы. В настоящее время в научных исследованиях и на производстве получили широкое распространение компьютерные системы обработки данных. Возможности современных приборов, снабженных микропроцессорными системами, позволяют практически одновременно проводить сбор, информационную обработку результатов и преобразование данных в измерительных, управляющих и других системах. Одной из важнейших проблем является информационная обработка результатов измерений по заданному критерию с учетом реальных факторов, вызывающих погрешность измерений, каковыми могут являться:

- параметры окружающей среды (температура, давление, влажность);
- технологические погрешности изготовления деталей и узлов прибора;
- искажения, связанные с абберациями оптической системы;
- вычислительные погрешности обработки данных.

Критерием обработки при этом могут являться точность, быстродействие или другая эксплуатационная характеристика системы обработки, определяемая кругом решаемых задач.

Традиционно совершенствование измерительных установок или приборов происходило путем более тщательной их юстировки, применения новых физических принципов измерений, совершенствования технологии изготовления измерительной аппаратуры. Однако чисто технические решения подобных задач встречают ряд принципиальных трудностей, связанных с физическим пределом совершенствования измерительной аппаратуры. Преодоление этих трудностей возможно с помощью применения нового подхода к совершенствованию измерительной аппаратуры, основанном не на приборном решении подобных задач, а на применении новых алгоритмов обработки результатов измерений с применением методологии математического моделирования.

В диссертационной работе рассмотрены вопросы математического моделирования информационно-измерительной системы на примере достаточно сложного оптико-аналитического прибора – автоматического рефрактометра.

Автоматический рефрактометр - один из основных приборов, применяемых для исследовательских работ в области технических приложений рефрактометрии. Прибор позволяет определить показатель преломления с точностью порядка нескольких единиц пятого знака после запятой.

В основе методов отражательной рефрактометрии лежат измерения интенсивности световых потоков, отраженных поверхностью объекта. Характеристики отраженного сигнала связаны с теми или иными свойствами объекта и исследуются при помощи фотоэлектронных устройств, преобразующих распределение световой энергии в сигналы измерительной

1575-215

информации, которые подвергаются компьютерной обработке. В частности, измеряемый показатель преломления жидкости связан с концентрацией компонентов растворов.

Толчком к выполнению работы послужила настоятельная потребность повышения точностных характеристик автоматического рефрактометра РП-2Э, созданного в НПО машиностроения.

Целью диссертационной работы является математическое моделирование информационно-измерительной системы, а также разработка алгоритма обработки информации на примере автоматического рефрактометра.

Для достижения данной цели решены следующие основные задачи.

1. Разработка корреляционного метода для обработки рефрактометрических измерений, обладающего высокой точностью по определению информационной характеристики исследуемого раствора.
2. Решение поставленных задач по уменьшению систематической погрешности рефрактометра.
3. Разработка и реализация метода восстановления информационной характеристики по отклику прибора (задача редукции к идеальному прибору).

Научная новизна. Предложен новый, не имеющий прямых аналогов и использующий методологию вычислительного эксперимента, метод обработки измерений применительно к рефрактометрическим системам. Метод позволяет увеличить точность определения линейного смещения между функциями распределения освещенности для определения критического угла отражения исследуемого раствора и повысить точность измерений автоматического рефрактометра до $1 \cdot 10^{-5}$ единиц показателя преломления.

Предложена новая методика по определению информационной характеристики исследуемых веществ.

Разработан принципиально новый алгоритм обработки экспериментальных данных применительно к рефрактометрическим системам, позволяющий проводить обработку результатов измерений по заданному критерию с учетом реальных факторов, вызывающих погрешность измерений.

Практическая ценность работы. Построена многофакторная математическая модель рефрактометрических измерений, позволяющая путем вычислительного эксперимента имитировать рефрактометрический контроль процесса измерений.

По разработанному алгоритму создана программа обработки данных рефрактометрической системы, в которой реализован предложенный корреляционный метод обработки результатов измерений автоматического рефрактометра. Применение программы привело к реальному повышению

точности измерений автоматического рефрактометра по сравнению с методами, применяемыми ранее.

Результаты работы могут быть использованы для разработки новых методик и создания на их основе высокочувствительных информационно-измерительных приборов и комплексов для решения научных и практических задач.

Достоверность полученных в диссертации результатов гарантируется строгостью применения математических методов, подтверждается математическим моделированием с применением вычислительной техники и обеспечивается проведенными сравнениями с экспериментальными данными, полученными другими исследователями. Положения и выводы, сформулированные в работе, обоснованы путем рассмотрения их физического содержания, конкретного математического анализа и правомерностью сделанных допущений. Полученные в диссертации результаты согласуются с ранее известными.

Апробация результатов. Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры ФН-2 МГТУ им. Н.Э. Баумана, на Четвертой Всероссийской научно-технической конференции «Состояние и проблемы технических измерений», 1997 год, на Пятой Всероссийской научно-технической конференции «Состояние и проблемы технических измерений», 1998 год, на Студенческих научно-технических конференциях 1996-1999 годов, Аэрокосмического факультета МГТУ им. Н.Э. Баумана, на научном семинаре Центра прикладной физики МГТУ им. Н.Э. Баумана. Полученные результаты изложены в трех отчетах по НИР НПО машиностроения.

Положения, выносимые на защиту.

1. Метод обработки измерений при помощи информационно-измерительной системы на примере автоматического рефрактометра.
2. Результаты решения задач по уменьшению систематической погрешности автоматического рефрактометра.
3. Метод восстановления информационной характеристики по отклику прибора (задача редукции к идеальному прибору).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трех разделов, заключения, списка используемой литературы, включающего 109 наименований работ отечественных и зарубежных авторов и приложений. Общий объем диссертации 135 страниц.

Содержание работы.

Во введении обоснована актуальность задачи, построена концептуальная модель измерений на автоматическом рефрактометре, сформулирована цель работы, а также задачи, которые необходимо решить для её достижения.

В первой главе обоснован информационный подход к построению алгоритма обработки измерений на примере автоматического рефрактометра. Проведено сравнение различных методов, применяемых для определения коэффициента преломления жидких сред. Показано, что рефрактометрический метод обладает высокой чувствительностью, информативностью и перспективен для определения коэффициента преломления жидких сред.

Проведен анализ процессов, происходящих при взаимодействии оптического излучения с границей двух сред. Приведено описание автоматического рефрактометра и теоретические основы физических процессов, имеющих место при измерениях на автоматическом рефрактометре. Выделены главные причины возникновения погрешностей измерения. Сформулированы задачи, которые необходимо решить в диссертации.

Вторая глава посвящена рассмотрению вопросов математического моделирования различных физических процессов, определяющих результаты измерений. Предложен корреляционный метод обработки рефрактометрических измерений, обладающий высокой точностью по определению информационной характеристики исследуемого раствора.

Информация о концентрационной характеристике C контролируемого раствора может быть получена по известной зависимости $C(n)$ путем измерения показателя преломления n раствора.

Критический угол φ_k измеряется по положению границы “света и тени” (рис.1) на многоэлементном приемнике – линейке фотоприемного устройства (ФПУ):

$$\varphi_k = \varphi_0 + \Delta\varphi, \quad (1)$$

$$n = N \sin \varphi_k, \quad (2)$$

где N – показатель преломления материала измерительной призмы,

φ_0 – критический угол эталонного раствора,

$\Delta\varphi$ – сдвиг кривой углового распределения коэффициента отражения контролируемого раствора относительно эталонного.

Показатель преломления определяется по методу “критического угла”.

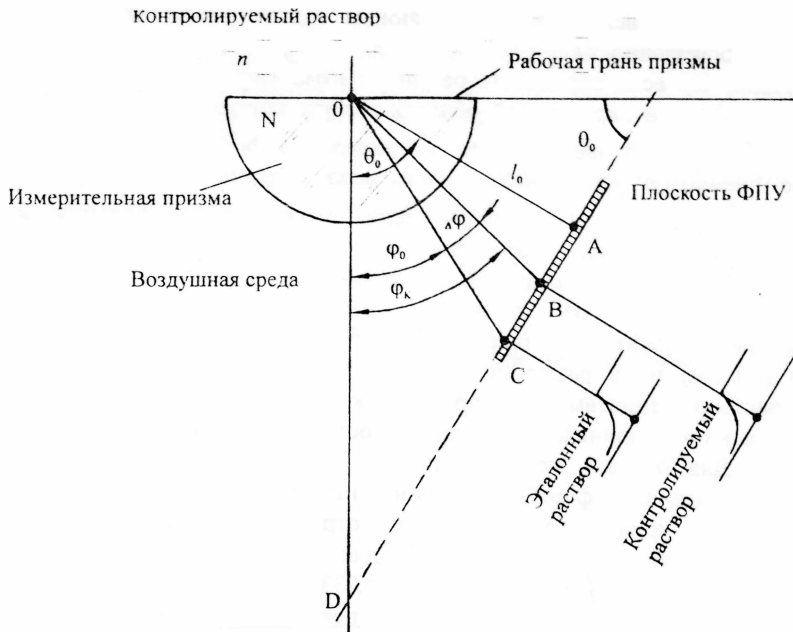


Рис 1. Схема определения критического угла φ_k контролируемого раствора.

На рис.1 обозначено:

- ◆ ABCD – линия в меридиональном сечении плоскости ФПУ;
- ◆ O – центр расходящегося пучка лучей, приходящих на ФПУ;
- ◆ l_0 – расстояние от центра пучка до плоскости ФПУ;
- ◆ θ_0 – угол между плоскостью ФПУ и рабочей гранью призмы;
- ◆ A – основание перпендикуляра из точки O на AD;
- ◆ BC – положение границы “света и тени”, контролируемого и эталонного растворов соответственно;
- ◆ OD – нормаль к рабочей грани призмы.

Сущность метода заключается в определении сдвига $\Delta\varphi$ между двумя кривыми, несущими информационные признаки. Этот сдвиг определяется по минимуму корреляционной функции $K(\tau)$, которая вычисляется по формуле:

$$K(\tau) = \int_{\varphi_1 + \tau}^{\varphi_2 + \tau} [\rho_{\pi}(\varphi - \tau) - \rho_k(\varphi)] d\varphi, \quad (3)$$

$$\Delta\varphi = \tau^* = \arg \min K(\tau), \quad (4)$$

ρ_{π} – функция распределения освещенности на ФПУ для эталонного раствора с известным коэффициентом преломления,

ρ_k – функция распределения освещенности на ФПУ для измеряемого раствора,

τ - переменная величина, определяющая сдвиг кривой эталонного распределения освещенности.

Показано, что если определять результат измерения не по отдельной точке, а по некоторой характерной области вблизи критической точки, то погрешность измерения может быть уменьшена в $N^{1/2}$ раз, где N - количество элементов усреднения, и возможно достичь таким образом точности $1 \cdot 10^{-5}$ единиц показателя преломления, что отвечает требованиям к современным автоматическим рефрактометрам.

Решена задача по определению влияния спектральной ширины источника излучения на точность измерений автоматического рефрактометра. Относительно широкая спектральная область источника излучения (30 нм) из-за различия дисперсии материалов измерительной призмы и растворов пищевых сред приводит к размытию границы света и тени и появлению дополнительной погрешности в измерении показателя преломления. Для оценки этой погрешности проведено математическое моделирование различных форм дисперсионной кривой раствора, построены соответствующие кривые распределения отраженного излучения и установлена их корреляция с распределением для воды.

На примере светодиодного излучателя АЛ336М и стекла К8 показано, что источник излучения с монохроматичным спектром может быть заменен на источник с немонохроматичным спектром, что приводит к значительному удешевлению прибора.

При работе рефрактометра в промышленных и лабораторных условиях проявляется неоднородность температур в различных слоях призмы, связанная с разностью температур контролируемой жидкости и окружающей среды.

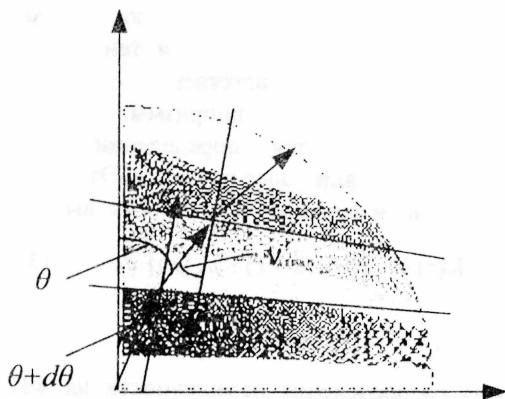


Рис. 2. К определению угла рефракции в измерительной призме рефрактометра.

На рисунке 2 обозначены:

ν - угол преломления, он образован вектором, касательным к лучу, и нормалью к слою с $n=\text{const}$,
 r, θ - координаты точки измерительной призмы.

Неоднородность температур призмы вызывает неоднородность показателя преломления стекла призмы в различных её слоях, что является причиной искривления оптического луча (рис.2).

Для определения влияния неоднородности температур измерительной призмы автоматического рефрактометра на точность измерений решена задача стационарной теплопроводности с учетом теплообмена между призмой, жидкостью и окружающей средой при условиях работы автоматического рефрактометра на линии по переработке и сгущению молока (рис.3).

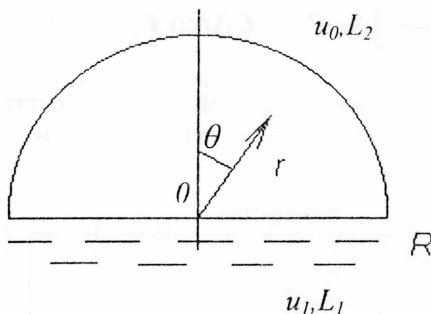


Рис. 3. К расчетной схеме для определения поля температур призмы.

Формулировка этой задачи имеет вид

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \cdot \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{1}{\sin \theta} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \cdot \frac{\partial u}{\partial \theta} \right) = 0, \quad (5)$$

$$-\lambda/r \cdot \frac{\partial u}{\partial \theta} \Big|_{\theta=\pi/2} = L_1(u-u_1),$$

$$-\lambda \cdot \frac{\partial u}{\partial r} \Big|_{r=R} = L_2(u-u_0),$$

где L_1 – коэффициент теплообмена с жидкостью,
 L_2 – коэффициент теплообмена с окружающей средой,
 u_1 – температура измеряемой жидкости,
 u_0 – температура окружающей среды,
 λ – коэффициент теплопроводности.

Данная задача решена методом Фурье разделения переменных.

Решение найдено в виде функций

$$u(r, \theta) = \sum_{i=0}^{\infty} C_i \cdot r^i \cdot P_i(\cos \theta), \quad (6)$$

где $P_i(x) = \frac{1}{2^i \cdot i!} \cdot \frac{d^i}{dx^i} \cdot [(x^2 - 1)^i]$ - многочлены Лежандра,

C_i - постоянные коэффициенты, которые определены так, чтобы функция удовлетворяла граничным условиям.

С учетом этих коэффициентов решение задачи (5) найдено в виде

$$u(r, \theta) = u_0 + \sum_{i=0}^{\infty} \frac{a_2 P_{ui}}{R^{2i} (a_2 R - 2i - 1)} \cdot r^{2i+1} \cdot P_{2i+1}(\cos \theta), \quad (7)$$

где $a_2 = \frac{-L_2}{\lambda}$, $P_{ui} = \frac{2i+3}{2} \int_{-1}^1 \Delta u \cdot P_i(\cos \theta) d \cos \theta$, $\Delta u = u_2 - u_0$.

Показано, что для достижения необходимой точности достаточно $i=0,1,\dots,10$. Также задача (5) решена численно, с использованием метода конечных элементов (рис.4).

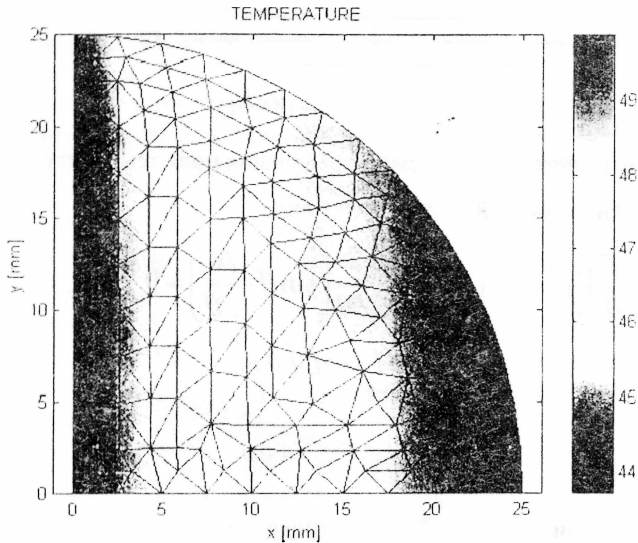


Рис.4. Решение задачи теплопроводности методом конечных элементов.

Показатель преломления в любой точке данного диапазона может быть получен как

$$n(\theta, r) = n_{20} + \beta_{abc} \cdot (u(r, \theta) - t_0), \quad (8)$$

где β_{abc} – температурный коэффициент показателя преломления,
 n_{20} – показатель преломления стекла при 20°C, $t_0=20^\circ\text{C}$.

Определение хода луча в призме в приближении геометрической оптики сводится к решению уравнения эйконала

$$(\nabla \psi)^2 = n^2, \quad (9)$$

где $n(r, \theta)$ – коэффициент преломления измерительной призмы в данной точке,

$\psi(r, \theta) = \text{const}$ задает поверхности постоянных фаз, которые определяют форму поля излучения.

Уравнение (9) можно переписать в виде

$$\frac{1}{r^2} \left(\frac{\partial \psi}{\partial \theta} \right)^2 + \left(\frac{\partial \psi}{\partial r} \right)^2 = n^2(\theta, r). \quad (10)$$

Из (10) следует система уравнений

$$\begin{aligned} \frac{d\theta}{dr} &= \frac{1}{r} \operatorname{tg} \nu, \\ \frac{d\nu}{dr} &= \frac{1}{nr} \left[\frac{\partial n}{\partial \theta} - \frac{\partial(nr)}{\partial r} \frac{d\theta}{dr} \right], \end{aligned} \quad (11)$$

определяющая траекторию луча, проходящего через точку с координатами θ_0, r_0 . Решение системы (11) в виде зависимости $\theta = \theta(r)$ получено методом Рунге-Кутты, причем для нахождения $\partial n / \partial \theta$ и $\partial(nr) / \partial r$ использовано (8).

При известных аберрациях оптической системы по изображению, полученному на приемнике сигнала, построено действительное изображение. Для этого решена некорректная задача, описываемая интегральным уравнением

$$\int_{x_1}^{x_2} K(x, s) y(s) ds = f(x) \quad (12)$$

при краевых условиях $y'(x_1) = y'(x_2) = 0$,

где $f(x)$ – интенсивность света в точке x приемника,

x_1 – соответствует первому элементу ФПУ,

x_2 – соответствует последнему элементу ФПУ,

$y(s)$ – интенсивность света в точке s без аберраций,

$K(x, s)$ – ядро уравнения, которое задается исходя из априорной

информации об известных аберрациях оптической системы

$$K(x, s) = \frac{1}{a(x)\sqrt{\pi}} e^{-\frac{(x-s)^2}{a^2(x)}} \quad (13)$$

где $a(x)$ - функция концентрации энергии. Для численного моделирования она определена как линейно возрастающая

$$a(x) = c + k \cdot x,$$

где $c = \text{const}$, $k > 0$ – изменяемый параметр.

При решении задачи методом регуляризации А.Н. Тихонова, составлен соответствующий сглаживающий функционал

$$M^\alpha[y, f] = \int_0^b \int_0^b K(x, s) \cdot y(s) ds - f(x) \big]^2 dx + \alpha \int_0^b [p(s) \cdot y^2(s) + q(s) \cdot y'^2(s)] ds, \quad (14)$$

где α - параметр регуляризации,

$p(s)$, $q(s)$ – заданные фиксированные функции.

В качестве приближенного решения использовалась функция, реализующая минимальное значение этого сглаживающего функционала.

Введена разностная сетка с шагом $h = b/m$, где m - число точек сетки, $b = x_2 - x_1$ - длина линейки ФПУ.

Тогда при $y(ih) = y_i$, $y'(ih) = y'_i$, используя квадратурную формулу трапеций, получаем

$$\int_0^b K(x, s) y(s) ds = \sum_{i=1}^m K_{ij} y_i h_i, \quad j = 1, 2, \dots, m,$$

где $K_{ij} = K(ih, jh)$,

$$y'_i(s) = \frac{y_{i+1} - y_i}{h},$$

здесь $h_0 = h_m = h/2$, $h_1 = \dots = h_{m-1} = h$.

Уравнение (14) принимает вид

$$M^\alpha = \sum_{i=1}^m h_i \left[\sum_{j=1}^m K_{ij} y_j h_j - f_i \right]^2 + \alpha \sum_{i=1}^m h_i \left[p y_i^2 + q \left(\frac{y_{i+1} - y_i}{h} \right)^2 \right]. \quad (15)$$

Минимальное значение M^α достигается при таких значениях y_k , $k = 1, 2, \dots, m$, при которых выполняется условие

$$\frac{\partial M^\alpha}{\partial y_k} = \sum_{i=1}^m h_i \left[2 \left\{ \sum_{j=1}^m K_{ij} y_j h_j - f_i \right\} K_{ik} h_k \right] + \alpha \left[2 h_k \left\{ p y_k + q \left(\frac{-y_{k+1} + y_k}{h^2} + \frac{y_k - y_{k-1}}{h^2} \right) \right\} \right] = 0.$$

После преобразования получаем

$$\sum_{i=0}^m K_{ik} h_i \left(\sum_{j=0}^m K_{ij} y_j h_j \right) - \sum_{i=0}^m h_i K_{ik} f_i + \frac{\alpha}{h^2} (y_k (ph^2 + 2q) - y_{k+1}q - y_{k-1}q) = 0. \quad (16)$$

При $i=m$ в (15) и $k=1, k=m$ в (16) входят неопределенные значения y_0 и y_{m+1} . Чтобы удовлетворить граничным условиям, полагаем $y_0 = y_1$ и $y_{m+1} = y_m$.

Приняв

$$\bar{K}_{kj} = \sum_{i=0}^m K_{ik} K_{ij} h_i h_j, \quad g_k = \sum_{i=0}^m h_i K_{ik} f_i,$$

получаем систему линейных алгебраических уравнений

$$\sum_{j=0}^m \bar{K}_{jk} y_j - g_k + \frac{\alpha}{h^2} (y_k (ph^2 + 2q) - y_{k+1}q - y_{k-1}q) = 0. \quad (17)$$

Эта система решена методом Гаусса.

Показано (рис.5), что при применении такого восстановления действительного изображения, погрешность определения минимума корреляционной функции Δm в зависимости от значения коэффициента k снижается приблизительно в 2 раза в сравнении с обработкой невозстановленных изображений. Однако необходимо отметить значительное увеличение машинного времени, необходимого на обработку результатов измерения при использовании данного метода.

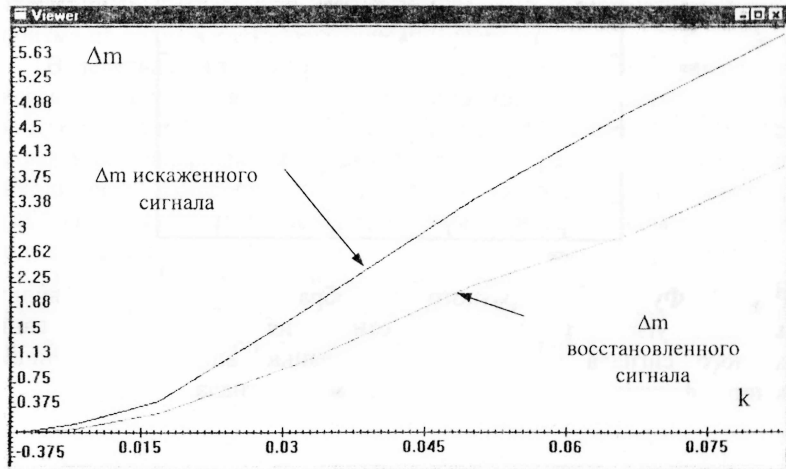


Рис. 5. Зависимость погрешности Δm определения минимума корреляционной функции для восстановленных сигналов в зависимости от k .

Решение задачи восстановления с помощью метода разложения функции в ряд Фурье не привело к требуемой точности. Но было высказано предположение, что возможно построение какого-то другого, улучшенного алгоритма, который основан не на разложении функции в ряд Фурье, а на применении преобразования Фурье.

Замечено, что для определения коэффициента преломления измеряемого раствора не обязательно знать сами формы кривых отражения эталонного и измеряемого растворов, а нужно определить корреляционное смещение между этими функциями. В ходе работы было высказано предположение о том, что функция обратного преобразования Фурье от искаженной функции отражения сохраняет некоторые информационные признаки идеального (неискаженного) сигнала.

Для подтверждения вышесказанного был проведен ряд численных экспериментов. Для функций распределения освещенности в плоскости ФПУ, соответствующих растворам с различными коэффициентами преломления, проведена корреляционная обработка не самих функций распределения освещенности сигнала эталонного и измеряемого раствора, соответственно искаженных, а функций обратного преобразования Фурье от отношения Фурье-преобразования искаженного сигнала к Фурье-преобразованию аппаратной функции (рис. 6).

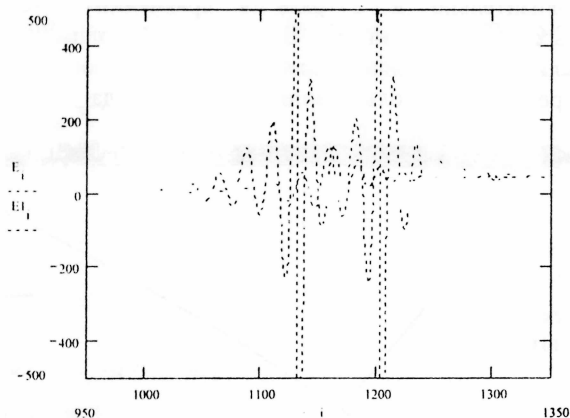


Рис.6. Функции обратного преобразования Фурье вблизи критического угла отражения для отношения Фурье-преобразования искаженного сигнала к Фурье-преобразованию аппаратной функции искаженных функций эталонного и измеряемого сигнала.

Показано, что такая корреляционная функция имеет четкий, легко находимый минимум (рис. 7), а положение минимума практически не отличается от положения минимума корреляционной функции от идеальных (неискаженных) сигналов (от 0.01 пиксела для раствора с коэффициентом преломления 1.34 до 0.04 пиксела для раствора с коэффициентом преломления 1.5).

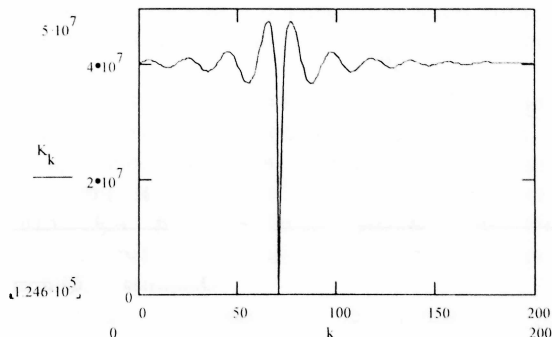


Рис. 7. Корреляционная функция, полученная обработкой функций обратного преобразования Фурье.

Третья глава посвящена экспериментальному подтверждению разработанного алгоритма обработки информации, приведены результаты измерений растворов с известными характеристиками, проведен анализ температурных поправок и экспериментальная проверка полученного алгоритма на водных растворах спирта и сахарозы.

Вследствие отсутствия надежных данных о температурной зависимости показателя преломления водно-спиртовых растворов, а также расхождения данных о концентрационной зависимости показателей преломления сахарных и водно-спиртовых растворов, установлена необходимость измерений для получения указанных зависимостей на неразработанном автоматическом рефрактометре и составлены программа и методика этих измерений.

Экспериментально определена температурная зависимость показателя преломления водно-спиртовых растворов различной концентрации в диапазоне температур 10...30°C (рис.8).

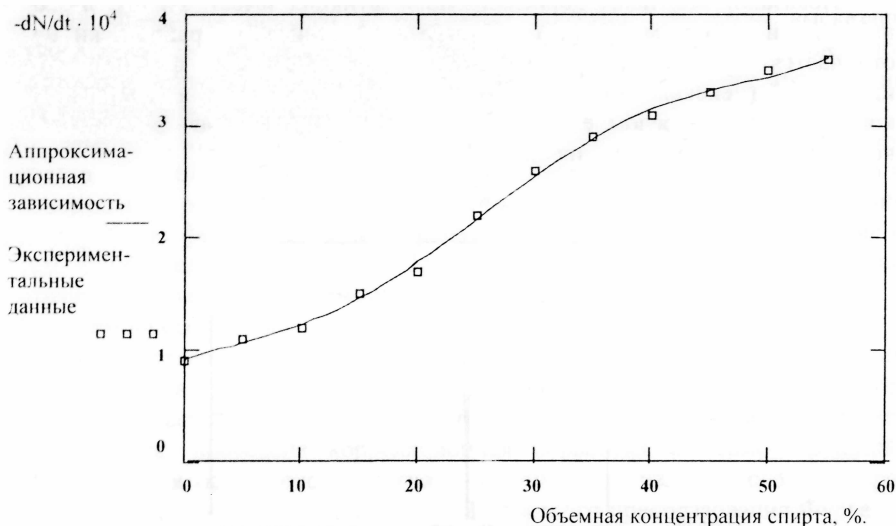


Рис. 8. Зависимость температурной поправки к показаниям рефрактометра от объемной концентрации спирта.

Проведена экспериментальная проверка точности и стабильности показаний рефрактометра.

В заключении представлены основные результаты работы.

1. Предложен корреляционный метод обработки рефрактометрических измерений, обладающий более высокой точностью по определению информационной характеристики измеряемого раствора по сравнению с ранее применяемыми методами.
2. Применение данного метода позволило достичь точности определения показателя преломления в $\Delta n = 1 \cdot 10^{-5}$, что отвечает современным требованиям к высокоточным автоматическим рефрактометрам.
3. Доказана возможность применения немонахроматического источника излучения в автоматическом рефрактометре, что приводит к значительному его удешевлению. Погрешность, определения минимума корреляционной функции при применении немонахроматического источника излучения составляет несколько сотых пиксела ФПУ.
4. При проведении измерений на автоматическом рефрактометре необходимо учитывать рефракцию в измерительной призме рефрактометра. Показано, что для некоторых видов стекол при превышении определенной температуры исследуемой жидкости

погрешность определения минимума корреляционной функции может возрастать до нескольких десятых пиксела ФПУ.

5. Аберрации оптической системы могут вносить ошибки в результат, превышающие значения, допустимые техническими условиями. Эти ошибки увеличиваются при неточной юстировке прибора.
6. Разработана методика компенсации этих искажений, реализующая регуляризирующий алгоритм Тихонова А.Н.. Задача решалась численно, с использованием конечно-разностной сетки, а получаемая система линейных уравнений - с использованием метода Гаусса. По данной методике удалось уменьшить рассматриваемую погрешность на 40-60%.
7. Предложена новая методика компенсации этих искажений при помощи преобразований Фурье, значительно уменьшающая погрешность определения критического угла отражения для автоматического рефрактометра при неизменных аберрациях оптической системы. Показано, что при применении этого метода погрешность в определении минимума корреляционной функции составляет не более 0.05 элемента ФПУ.
8. Разработан комплекс программ для формирования температурной поправки к измерениям рефрактометра по измеренной температуре раствора и измеренному показателю преломлению контролируемого раствора.
9. Проведена экспериментальная проверка точности и стабильности показаний рефрактометра. Показано, что при имеющемся инструментальном и информационном обеспечении точность показаний рефрактометра составляет 0.01-0.005 %.

Основные результаты диссертации отражены в следующих работах.

1. Алехнович В.И., Дерезовский Д.В. Влияние неоднородности стационарного распределения температур призмы автоматического рефрактометра на точность измерений // Состояние и проблемы технических измерений: Тез. докладов пятой всероссийской научно-технической конференции. - М., 1998.- С.194-195.
2. Алехнович В.И., Дерезовский Д.В. Корреляционный метод определения критического угла для автоматического рефрактометра // Известия ВУЗов. Приборостроение. - 2001. - №7. - С.38-47.
3. Алехнович В.И., Дерезовский Д.В., Тюменцев С.Ю. Автоматический рефрактометр для измерения состава и свойств пищевых сред // Состояние и проблемы технических измерений: Тез. докладов четвертой всероссийской научно-технической конференции. - М., 1997.- С. 351-352.

4. Алехнович В.И., Дерезовский Д.В., Тюменцев С.Ю. Температурная компенсация показаний автоматического рефрактометра для водно-спиртовых растворов // Состояние и проблемы технических измерений: Тез. докладов пятой всероссийской научно-технической конференции. - М., 1998.- С.192-193.
5. Дерезовский Д.В. Влияние ширины спектра излучения светодиода на точность измерений промышленного рефрактометра // СНТК-95: Тез. докладов студенческой научно-технической конференции. - Реутов, 1995.- С.191.
6. Дерезовский Д.В. Дефектоскопия труб большого диаметра // СНТК-96: Тез. докладов студенческой научно-технической конференции. - Реутов, 1996.- С.151.
7. Дерезовский Д.В. Математическое моделирование и программное обеспечение рефрактометрических измерений // СНТК-97: Тез. докладов студенческой научно-технической конференции. - Реутов, 1997.- С.124.
8. Дерезовский Д.В. Математическое моделирование рефрактометрических измерений // СНТК-98: Тез. докладов студенческой научно-технической конференции. - Реутов, 1998.- С.103.
9. Дерезовский Д.В., Алехнович В.И. Устранение влияния аберраций оптической системы автоматического рефрактометра на точность измерений // Исследовано в России. Электронный журнал. - 2001. -№72. - С.799-808. (<http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2001/072.pdf>).
10. Дерезовский Д.В., Алехнович В.И., Подгузов Г.В. Влияние неоднородности температур призмы автоматического рефрактометра на точность определения показателя преломления жидких сред // Деп. рук. ВИНТИ. - 1999. - № 3549. - 17 с.

ЛР № 020990 от 15. 05.95 г.
Формат 60x84/16 Печать офс. Бумага офс. № 1
Усл. печ. л. 1,2
Тираж 100 экз. Заказ 101

Отпечатано в типографии ИНИОН РАН